Arbeiten des pflanzenphysiologischen Institutes der k. k. Wiener Universität.

VIII. Untersuchungen über den Einfluss des Lichtes und der strahlenden Wärme auf die Transspiration der Pflanze.

Von **Julius Wiesner.**

(Vorgelegt in der Sitzung am 20. Juli 1876.)

Die Wirkung des Lichtes auf die Transspiration der Pflanze ist eine so tiefgehende, dass schon die rohesten Versuche zur Kenntniss dieser Thatsache führen mussten. Es hat ja bekanntlich Guettard[1] schon vor länger als 120 Jahren durch ganz primitive Versuche, bei welchen weder auf Temperatur noch auf Luftfeuchtigkeit Rücksicht genommen wurde, gefunden, dass das Licht die Wasserverdunstung der Pflanze in der augenfälligsten Weise begünstigt.

Unsere Kenntnisse über die Beziehung des Lichtes zur Transspiration wurden durch spätere Untersuchungen wohl befestigt, in soferne nämlich, als die Bedenken gegen Guettard's Versuche, die noch immer die Annahme erlaubten, dass die verstärkte Transpiration im Lichte erhöhter Lufttemperatur zuzuschreiben sei, beseitigt wurde, im Übrigen aber weder wesentlich erweitert noch vertieft.[2]

Über das Zustandekommen der gesteigerten Verdunstung im Lichte liegt nur die zuerst von Unger, später von Sachs ausgesprochene Vermuthung vor, dass die von Mohl[3] entdeckte Öffnung der Stomata im Lichte als Ursache dieser Erscheinung anzusehen wäre. Aber der Umstand, dass das Öffnen und Schliessen der Spaltöffnungen auch von anderen Factoren z. B.

---

[1] Mém. de l'Académie des sciences de Paris 1847—1849.

[2] Vgl. hierüber Baranetzky: Über den Einfluss einiger Bedingungen auf die Transspiration der Pflanzen, Bot. Zeit. 1872, p. 65 ffd. woselbst auch zahlreiche diesbezügliche Literaturangaben enthalten sind.

[3] Mohl, Bot. Zeitung 1856, p. 697 ffd. Unger, Sitzungsber. d. kais. Ak. d. Wiss. Bd. 44, p. 336. Sachs Lehrb. 3. Aufl., p. 589.

wie Barthelmy [1] zeigte, vom Gasdrucke im Innern der Pflanze abhängig ist, so zwar, dass bei hohem Gasdrucke die Spaltöffnungen auch im Finstern geöffnet, bei geringem auch im Lichte geschlossen sein können, legt die Vermuthung nahe, dass die Erscheinung des Geöffnetseins der Stomata im Lichte ebensogut als eine Folge als wie als Ursache der gesteigerten Transspiration im Lichte angesehen werden dürfte. Ich komme auf diesen Gegenstand später noch zurück und bemerke hier nur, dass der Zusammenhang, welcher zwischen Beleuchtung und Transspiration der Pflanze existirt, bis jetzt unerklärt geblieben ist.

Über die Wirkung verschieden brechbaren Lichtes auf die Grösse der Wasserverdunstung liegen wohl mehrere, aber zum Theile sich widersprechende Beobachtungen vor. Während von einer Seite eine feste Beziehung zwischen der Brechbarkeit des Lichtes und den Transspirationswerthen nicht darzulegen vermocht werden konnte [2], haben vor nicht langer Zeit zwei französische Forscher [3] die Behauptung aufgestellt, dass die am meisten leuchtenden Strahlen des Lichtes, also diejenigen, welche auch die grösste assimilatorische Kraft besitzen, diejenigen wären, welche die Verdunstung der Pflanze am meisten begünstigen.

Baranetzky [4] findet, dass die Grösse der Transspiration unter sonst gleichen Verhältnissen der Lichtintensität nicht stets proportional ist. Er stellt sich vor, dass das Licht eine reizende Wirkung auf die Pflanze ausübt, und dass die Empfindlichkeit der Pflanze für Lichtreizungen sich vermindert, so zwar, dass letztere bei oftmaliger Wiederholung der Lichtreizungen zu reagiren aufhört.

So viel mir bekannt, wurde die Beziehung zwischen Licht und Transspiration in anderer als der angedeuteten Richtung nicht geprüft.

Seit einigen Jahren beschäftigt mich dieser Gegenstand. Ich berichte in vorliegenden Blättern über meine Untersuchungen.

---

[1] Annales des sciences nat. 5. sér., Bot. T. XIX, p. 150.

[2] Daubeny, Phil. Trans. 1836. Vgl. auch Sachs Experimentalphysiologie. 228 ffd.

[3] Dehérain, Annales des sciences nat. 5. sér. Bot. T. XII.
Risler, Archiv des sc. phys. et nat. 1871.

[4] l. c. p. 97 ffd.

Ich versuchte, den Zusammenhang, welcher zwischen der Lichtwirkung und der Transspirationsgrösse besteht, aufzuklären und glaube dem wahren Sachverhalte nahegekommen zu sein.

Für das Studium dieser Frage war es nöthig, den Gang der Transspiration im constanten und veränderlichen Lichte genauer kennen zu lernen, und die Beziehungen zwischen der Brechbarkeit der Lichtstrahlen und den Transspirationswerthen zu ermitteln. Hierbei wurde ich nothwendigerweise auch auf die Frage geführt: welchen Einfluss haben die dunklen Wärmestrahlen und die dunklen chemischen Strahlen auf die Grösse der Verdunstung der Pflanze. Über den ersten Punkt hoffe ich befriedigende Aufklärungen bieten zu können; die stricte Entscheidung des zweiten Punktes ist mir nicht gelungen, doch hat es nach meinen Versuchen wohl den Anschein, als würde der Einfluss der dunklen actinischen Strahlen, wenn überhaupt vorhanden, nur ein ganz unerheblicher sein.

Die von Baranetzky angeregte Frage über die Empfindlichkeit der Pflanze gegen Lichtreize habe ich nur insoferne in den Kreis meiner Untersuchungen hineingezogen, als es für die Feststellung der anzuwendenden Untersuchungsmethode erforderlich war.

I. Der Gang der Wasserverdunstung beim Wechsel von Licht und Dunkel, ferner beim Wechsel der Helligkeiten bei sonst constanten Transspirationsbedingungen.

Lässt man eine im Wasser wurzelnde gesunde Pflanze bei constanter Temperatur und gleichbleibender Feuchtigkeit der Luft im diffusen Tageslichte verdunsten, so ergeben sich in der Regel ungleiche Wasserverluste für gleiche Zeitabschnitte.

Die Unregelmässigkeit im Gange der Transspiration unter diesen Umständen ist oft eine sehr auffällige, wie folgende Versuchsreihe lehrt.

Ich brachte drei junge, im Wasser am Lichte gezogene, kräftige Maispflänzchen, jedes mit drei starken, ausgebreiteten, intensiv grünen Blättern versehen, derart in hohe cylindrische, mit Wasser gefüllte Gefässe, dass die Wurzeln in's Wasser tauchten, die grünen Organe aber in die Luft ragten. Durch mit

Seide übersponnenen Draht, welcher die epicolyten Stengelglieder umgriff und am Halse des Gefässes befestigt war, wurden die Pflänzchen in eine fixe Stellung gebracht. Das Wasser der Gefässe war durch eine dünne Oelschichte an der Verdunstung verhindert, so zwar, dass vom ganzen Apparat nur durch die grünen Organe Wasser abgegeben werden konnte.

Dieser Transspirationsapparat kam auf die Wage. Nach erfolgter Äquilibrirung wurde von den Gewichten jedesmal 10 Milligramm fortgenommen und die Zeit bestimmt, welche bis zur Herstellung des neuen Gleichgewichtszustandes verfloss. Es wurden hierbei folgende Zeitwerthe gefunden.

Versuch Nr. 1.

1. Wägung	6	Min.	15	Sec.
2. „	7	„	15	„
3. „	4	„	30	„
4. „	4	„	20	„
5. „	7	„	45	„
6. „	5	„	10	„

Die Wage oscillirte während der Wägung nicht merklich, Transspirationsstörungen in Folge ungleicher Bewegung der Versuchspflanze konnten desshalb nicht vorkommen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit hatten sich während des Versuches nicht geändert. Die ungleiche Wasserabgabe der Maispflänzchen konnte nach meinem Dafürhalten keinen anderen Grund haben, als ungleiche Lichtintensität während des Versuches, der bei halbumwölktem Himmel vorgenommen wurde.

Ich beschloss desshalb, einige Versuche im künstlichen Lichte vorzunehmen, wobei ich es ja in meiner Hand hatte, die Helligkeit constant zu machen. Die Resultate, welche ich hierbei gewann, befriedigten mich durch ihre Zuverlässlichkeit in der Weise, dass ich, wo es sich um Benützung constant hellen, nicht intensiven Lichtes handelte, das künstliche Licht dem diffusen und dem Sonnenlichte vorzog.

Als Lichtquelle benützte ich eine Leuchtgasflamme, welche in einem völlig verdunkelten Raume des Institutes brannte. Da ich durch Manometerversuche fand, dass dieselbe in vierund-

zwanzig Stunden unter einem Drucke brannte, welcher sich zwischen 13—25 Millimeter Wassersäule bewegte, so schaltete ich in die Leitung einen Faas'schen Gasregulator ein, welcher den Druck auf 13·5 Millimeter fast gänzlich constant erhielt. Die Transspirationsversuche sowohl als andere Experimente im constanten Lichte wurden durch Monate fortgesetzt und nebenher stets Manometerablesungen gemacht, um den Gasdruck kennen zu lernen, unter welchem die Leuchtgasflamme brannte. Nur selten kam es vor, dass trotz Regulators der Druck um 0·5—2 Millimeter über den Normaldruck sich hob. Die hierbei erzielten Versuchsergebnisse wurden ausgeschlossen. Da die zahlreichen chemischen Untersuchungen, die mit dem Wiener Leuchtgas angestellt wurden, eine grosse Constanz in der chemischen Zusammensetzung desselben ergeben haben, und lehrten, dass dasselbe bei gleichem Drucke auch dieselbe Leuchtkraft besitzt, so darf ich wohl mit Beruhigung annehmen — und die präcisen Versuchsergebnisse bekräftigen mich hierin — dass meine im Gaslichte vorgenommenen Experimente über Transspiration bei constanter Helligkeit ausgeführt wurden.

Mein geehrter Freund und College, Herr Prof. Dr. Weselsky hatte die Güte, die Leuchtkraft meiner zu den Versuchen dienlichen Gasflamme zu bestimmen. Als Mittel aus sechs Bestimmungen ergab sich für einen Druck von 13·5 Millimeter Wassersäule die Leuchtkraft gleich 6·5 Wallrathkerzen.

Dass es nothwendig war, immer denselben Brenner anzuwenden und die Pflanzen in einer ganz bestimmten Entfernung von der Flamme aufzustellen, ist selbstverständlich.

Es wurde stets ein und derselbe Schmetterlingsbrenner benützt und die breite Fläche der Flamme der transspirirenden Pflanze zugewendet. Die Pflanzen standen ziemlich genau in einem horizontalen und einem verticalen Abstande von je einem Meter von der Flamme entfernt.

Über den Gehalt an Wasserdampf und über die Temperatur des Versuchsraumes bemerke ich, dass beide nur geringen Schwankungen ausgesetzt waren, da die Temperatur durch die Tag und Nacht Monate lang hindurch brennende Gasflamme schon an und für sich ziemlich auf derselben Höhe sich hielt, überdies durch Ventilation von einem anstossenden kühleren,

dunkel gehaltenen Raume aus nöthigenfalls herabgesetzt oder durch möglichst schwach leuchtende Gasflamme erhöht werden konnte, und auch die Bedingungen für die Dampfbildung in dem Versuchsraume sich nahe constant erhielten. Nähere Angaben über die Temperatur, Spannung der Wasserdämpfe und der relativen Feuchtigkeit werde ich den einzelnen Versuchsreihen beifügen.

Die Temperatursbestimmungen wurden mit corrigirten Thermometern, welche directe Ablesungen von 0·2° C. gestatteten, gemacht. Ich bemerke hier gleich, dass mit diesen Thermometern auch die übrigen Temperatursbestimmungen ausgeführt wurden, bis auf jene, bei welchen es sich um den Einfluss der Strahlung auf die Temperatur handelte. Hierzu dienten anfänglich Thermometer mit berusster Kugel, später das weit genauere Radiations-Thermometer von Casella, bei welchem bekanntlich die geschwärzte Kugel in einem evacuirten, von einem Glasmantel umschlossenen Raume sich befindet.

Auch will ich jetzt gleich erwähnen, in welcher Weise die Bestimmungen der Spannung des Wasserdampfes (Dunstdruck) und der relativen Feuchtigkeit während der einzelnen Versuche ausgeführt wurden. Es geschah dies mittelst eines August'schen Psychrometers, welcher von Capeller in Wien ausgeführt wurde. An jedem der beiden Thermometer konnten 0·1° C. abgelesen werden. Die Werthe für Dampfspannung und Wassergehalt der Luft wurden auf Grund der Beobachtungselemente den Wild-Jelinck'schen Psychrometertafeln [1] entnommen.

Auf die Temperatursbeobachtungen wurde sowohl bei den psychrometrischen als anderen Bestimmungen grosse Sorgfalt verwendet, um die so wichtigen Bedingungen der Transspiration: Lufttemperatur, Dunstdruck und relative Feuchtigkeit möglichst genau zu präcisiren. Die Vorsichten, welche zu beachten sind, um Lufttemperaturen im Sonnenlichte mit Quecksilberthermometern genau zu bestimmen, auf welche auch bei den Versuchen gebührend Rücksicht genommen wurde, sind zu bekannt, als dass es nöthig wäre, dieselben hier im Einzelnen zu schildern.

---

[1] Psychrometertafeln. Nach H. Wild's Tafeln bearbeitet von C. Jelinek, Wien 1876.

Ich kehre nun zu meinen Versuchen über die Transspiration der Pflanze im constanten künstlichen Lichte und bei constant bleibenden äusseren Bedingungen zurück.

Die Ventilation des Raumes in welchem die Versuche durchgeführt wurden, war eine so günstige, dass der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre desselben nicht merklich von dem normalen mittleren Werthe abwich, so dass ich mit Beruhigung annehmen konnte, dass die Versuchspflanzen in diesem Raume unter sonst normalen Verhältnissen sich befanden. Ich durfte dies um so mehr annehmen, als bei den Versuchen, welche oft 24 bis 36 Stunden währten, die Pflanzen sich völlig normal verhielten und bei weiter fortgesetzten Vegetationsversuchen in freier Luft sich normal weiter entwickelten.

Gleich bei den ersten Versuchen stellte es sich heraus, dass der Gang der Transspiration ein anderer war, wenn die Pflanze aus dem Dunklen in's Licht gestellt wurde, als wenn sie durch längere Zeit im Lichte blieb, bevor mit der Wägung begonnen wurde.

Es zeigte sich nämlich, dass im ersteren Falle die Transspirationswerthe bis zu einer bestimmten Grenze abnahmen; im letzteren Falle hingegen wurden gleichbleibende Werthe erhalten, vorausgesetzt, dass die Pflanze vorerst genügend lange im Lichte stand.

Weiter fortgesetzte Versuche haben nun folgende einfache Resultate gegeben:

1. Eine aus dem Finstern in's Licht gebrachte Pflanze zeigt anfänglich eine stärkere Transspiration als später, selbst bei völlig gleichbleibenden sonstigen äusseren Bedingungen. Die transspirirte Wassermenge nimmt hierauf ab und erreicht schliesslich einen stationären Werth.

2. Eine aus dem Lichte in's Dunkle gebrachte Pflanze gibt für sonst constant bleibende äussere Bedingungen anfangs grössere Transspirationswerthe als später. Auch hier stellt sich ein stationärer Werth und zwar im Allgemeinen früher ein, als wenn die Pflanze aus dem Dunkeln in's Helle gebracht wurde.

3. Wird eine Pflanze aus einer bestimmten Helligkeit in eine grössere gebracht, so verhält sie sich ähnlich so, wie eine

aus dem Finstern in's Licht gestellte und umgekehrt, nur sind natürlich die Werthe für die Abnahme der in bestimmten Zeitabschnitten erfolgenden Transspiration andere, als beim Wechsel von Licht und Dunkel oder umgekehrt.

Es wird nunmehr die oben mitgetheilte Beobachtung, der zufolge eine aus dem Finstern in's Licht gestellte Pflanze einen anderen Gang der Transspiration zeigt, als eine längere Zeit in einer während der späteren Wägung herrschenden Helligkeit gestandene, verständlich.

Die hier kurz zusammengefassten Wahrnehmungen stehen mit den oben angeführten Beobachtungen Baranetzky's keineswegs im Widerspruche. Doch geben meine in der Richtung angestellten Beobachtungen, die ja nur wegen der Feststellung der Untersuchungsmethode unternommen wurden, nicht so weit, um im Übrigen über seine Versuchsergebnisse urtheilen zu können. Namentlich den Einfluss raschen oftmaligen Wechsels von Beleuchtung und Verfinsterung auf die transspirirende Pflanze zu prüfen lag nicht in meiner Absicht, doch möchte ich hier, meinen später folgenden Mittheilungen vorgreifend, erwähnen, dass die Wirkung des Lichtes auf die transspirirende Pflanze auf einem Umsatz von Licht in Wärme beruht. Bei dem langsamen Ausgleich der Temperatur der Pflanze mit der des umgebenden Mittels ist es wohl begreiflich, wenn man bei raschem Wechsel von Licht und Dunkel, wie dies bei Baranetzky's diesbezüglichen Versuchen auch der Fall war, keinen Unterschied mehr in der Grösse der Transspiration zwischen der im Finstern und der im Lichte stehenden Pflanze wahrnimmt.

Ich gehe nun zur Mittheilung der Versuche, welche die oben in drei Punkte zusammengefassten Beobachtungsresultate begründen sollen.

Versuch Nr. 2.

Eine im Wasser wurzelnde *Hartwegia comosa* wurde behufs Bestimmung der Transspiration in gleicher Weise zum Versuche hergerichtet, wie dies im Versuche Nr. 1 näher beschrieben wurde. Die Pflanze besass fünf tiefgrüne turgescente Blätter, welche, wie die nachträgliche Bestimmung lehrte, ein Lebend-

gewicht von 4·2 Grm. und eine Oberfläche von circa 58 □ Cent. hatten.

Die Pflanze stand bei einer Temperatur von 23·3° C. und einer Spannkraft des Wasserdampfes von 12·6 (Rel. Feuchtigkeit = 59 Proc.) durch 12 Stunden im Finstern und wurde dann dem Gaslichte ausgesetzt. Weder die Helligkeit der Flamme noch die Spannkraft des Wasserdampfes änderten sich während des Versuches in merklicher Weise; nur die Temperatur schwankte zwischen 23·2 und 23·5° C.

	Milligr. Wasserdampf.
Nach Ablauf der 1. Stunde gab die Pflanze ab:	59
" " " 2. " " " " "	48
" " " 3. " " " " "	44
" " " 4. " " " " "	42

Die zuletzt angegebene Gewichtsmenge blieb während des noch durch 5 Stunden fortgesetzten Versuches stationär.

Versuch Nr. 3.

Dieselbe Pflanze blieb im Ganzen durch 18 Stunden im Lichte und wurde hierauf bei einer Temperatur von 22·8—23·1° C. und einer Spannkraft des Wasserdampfes von 12·8 (Rel. Feuchtigkeit 61 Proc.) in's Dunkel gestellt.

	Milligrm. Wasserdampf.
Nach Ablauf der 1. Stunde gab die Pflanze ab:	31
" " " 2. " " " " "	30
" " " 3. " " " " "	29

Bei weiter fortgesetzten Wägungen erwies sich diese Wassermenge von 29 Milligrm. per Stunde als constant.

Versuch Nr. 4.

Drei frische Maispflänzchen, deren transspirirende Organe ein Frischgewicht von 1·7 Grm. und eine Oberfläche von beiläufig 39□Ctmtr. aufwiesen, blieben durch 12 Stunden bei 21·8—22.3° C.

und einer Dampfspannung von 12·7 (Relat. Feuchtigkeit = 60 Procent) im Finstern.

Bei einer Temperatur, welche zwischen 21·8—22·4° C. schwankte und eine Dampfspannung von 12·4 (Rel. Feuchtigkeit = 60), ergaben sich folgende Wasserverluste:

Nach der 1. halben Stunde	36 Milligr.
„ „ 2. „ „	31 „
„ „ 3. „ „	28 „
„ „ 4. „ „	26 „
„ „ 5. „ „	25 „
„ „ 6. „ „	25 „
„ „ 7. „ „	25 „

Um mich zu vergewissern, ob die schon oben ausgesprochene Vermuthung richtig ist, dass nämlich die ausserordentlich geringen Bewegungen, welchen die stets mit Vorsicht gewogenen Transspirationsapparate auf der Wage ausgesetzt sind, keinen Einfluss auf die Verdunstungswerthe ausüben, wie Baranetzky's [1] Versuche vielleicht annehmen lassen, wurden folgende Versuche bei völlig gleichbleibender Temperatur (23·7° C.), constanter Dampfspannung und constanter Leuchtkraft der Gasflamme gemacht.

Versuch Nr. 5.

Die Versuchspflanze von Nr. 4 wurde nach Erreichung des stationären Transpirationswerthes auf die Wage gestellt. Nach Herstellung des Gleichgewichtes wurden 5 Milligramm von den Gewichten fortgenommen und die Zeit bestimmt, welche verstrich, bis der Gleichgewichtszustand auf der Wage sich einstellte. Hierauf wurde der Versuch in der gleichen Weise wiederholt.

	Zeit, nach welcher der Gleichgewichtszustand auf der Wage sich einstellte.
1. Wägung	6 Min. 10 Sec.
2. „	6 „ 15 „
3. „	6 „ 15 „
4. „	6 „ 10 „

[1] l. c. Nr. 6, pag. 82 ffd.

Die Ablesung war bloss auf 5 Sec. genau. Die Differenz in den Secunden bei den einzelnen Ablesungen ist zu gering, um in Betracht kommen zu können. Man darf hier wohl die gefundenen Zeitwerthe als gleich betrachten.

Versuch Nr. 6.

Ein frischer Zweig von *Taxus baccata*, dessen Frischgewicht 3·72 Grm. betrug und der mit 345 Blättern besetzt war, wurde in unserem Transspirationsapparat zum Versuche bei einer Temperatur von 22·2° C. und einer Dampfspannung von 13·1 (rel. Feuchtigkeit = 66 Proc.) auf die Wage gestellt, nachdem er durch 12 Stunden im constanten Lichte sich befand. Es erfolgte die Herstellung des Gleichgewichtszustandes an der Wage nach Wegnahme von je 5 Milligr. Gewicht.

Bei der 1. Wägung nach . . . . . 6 Min. 15 Sec.
„ „ 2. „ „ . . . . . . 6 „ 15 „
„ „ 3. „ „ . . . . . . 6 „ 10 „
„ „ 4. „ „ . . . . . . 6 „ 15 „
„ „ 5. „ „ . . . . . . 6 „ 10 „

Aus diesen beiden Versuchen ergibt sich, dass nach Erreichung stationärer Transspirationswerthe bei vorsichtigem Wägen keine Störung in der Constanz der Wasserabgabe eintritt.

Folgende Versuchsergebnisse mögen es anschaulich machen, dass der Gang der Transspiration durch Änderung der Helligkeiten in ähnlicher Weise beeinflusst wird, als durch den Wechsel von Licht und Dunkel.

Versuch Nr. 7.

Drei grüne Maispflänzchen, deren verdunstende Organe nach Ausweis nachträglicher Bestimmungen etwa 1·60 Grm. Frischgewicht und circa 42 □Cent. Oberfläche hatten, wurden in unserem einfachen Transspirationsapparate zur Verdunstung hingestellt.

Beleuchtungsverhältnisse	Temperatur	Dunstdruck
Sonnenlicht	geschütztes Therm.: 24·5—25·9° C. Radiationstherm.: 39·2° C.	16·0
Diffuses helles Tageslicht	23·9—24·6	13·9
Gaslicht (13·5 Mm. Druck)	geschütztes Therm.: 23·9° C. Radiationstherm.: 25·4° C.	14·9
Finster	23·9° C.	14.9

Beleuchtungs-verhältnisse	Relative Feuchtigkeit	Verdunstung nach der ersten Stunde	Stationärer Transspirationswerth per Stunde.
Sonnenlicht	68 Proc.	249 Milligr.	198 Milligr.
Diffuses helles Tageslicht	66 "	80 "	68 "
Gaslicht (13·5 Mm. Druck)	67 "	39 "	32 "
Finster	67 "	29 "	27 "

Versuch Nr. 8.

Es wurde die Verdunstung von 3 Maispflänzchen, deren grüne Organe ein Lebendgewicht von 1·25 Grm. und eine transpirirende Oberfläche von 36 □ Cent. hatten, geprüft.

Beleuchtungsverhältnisse	Temperatur	Dunstdruck
Finster	24·3° C.	14·9
Gaslicht (13·5 Mm. Druck)	geschütztes Therm.: 24·3° C. Radiationstherm.: 26° C.	14·9
Diffuses helles Tageslicht	24·2—24·7° C.	14·0
Sonnenlicht	geschütztes Therm.: 24·8—25·8° C. Radiationstherm. 41·3° C.	16·0

Beleuchtungs-verhältnisse	Relative Feuchtigkeit	Verdunstung nach der ersten Stunde	Stationärer Transspirationswerth per Stunde.
Finster	67 Proc.	19 Milligr.	17 Milligr.
Gaslicht (13·5 Mm. Druck)	67 "	29 "	23 "
Diffuses helles Tageslicht	66 "	82 "	66 "
Sonnenlicht	68 "	256 "	192 "

Zahlreiche andere Versuche, welche ich angestellt habe, um den Einfluss der Beleuchtung und Verdunklung auf die Transspiration kennen zu lernen, haben mit den mitgetheilten gleichsinnige Resultate gegeben, so dass es mir überflüssig erscheint, in der Wiedergabe der Versuchszahlen noch weiter fortzufahren.

Jedenfalls lehren aber selbst die wenigen hier geschilderten Experimente, dass man bei Feststellung des Einflusses, welchen das Licht auf die Transpiration ausübt, groben Irrthümern ausgesetzt ist, wenn nicht auf die Variation der Verdunstung bei Änderung der Beleuchtung und beim Wechsel von Licht und Dunkel Rücksicht genommen wird.

Der grosse Einfluss des Lichtes auf die Transspiration geht neuerdings aus vorstehenden Versuchsresultaten hervor und vielleicht mit grösserer Evidenz, als aus den Angaben früherer Beobachter. Man ersicht nämlich aus meinen Daten die auffällige Steigerung der Wasserverdunstung mit der Zunahme der Lichtintensität bei fast gleichbleibenden Werthen für Dunstdruck und relative Feuchtigkeit oder bei einer so untergeordneten Änderung dieser Grössen, welche die hierbei sich ergebenden Variationen der Verdunstung durch die Pflanze gewiss nicht zu erklären vermögen.

II. Die Transspiration grüner und nicht grüner Organe der Pflanze im Dunkeln und im Lichte verschiedener Intensität.

Im vorhergehenden Abschnitte habe ich bloss über die Transspiration chlorophyllhaltiger Pflanzen im Lichte gesprochen·

In diesem Abschnitte werde ich die Thatsache begründen, dass das Chlorophyll eine wichtige Rolle bei der Wasserverdunstung im Lichte spielt, indem die chlorophyllreichen Organe unter sonst gleichen Umständen und bei gleichem anatomischen Baue im Lichte stärker transspiriren als chlorophyllarme oder gar chlorophylllose, und dass im Allgemeinen das Licht bei grünen Organen weitaus stärker als dies bei etiolirten, weissen oder bunten der Fall ist, auf die Transspiration wirkt.

Ich werde mich in diesem Theile der Abhandlung bloss an das rein Thatsächliche dieser Erscheinungen halten. Im weiteren Verlaufe meiner Darlegungen werde ich erst den Zusammenhang klarlegen, welcher zwischen der Transspiration im Lichte und dem Besitze der Organe an Chlorophyll existirt.

Versuch Nr. 9.

Ich wählte 3 tief ergrünte, normale Maispflanzen aus und brachte selbe in den Transspirationsapparat. Das Gewicht der Pflänzchen betrug 1·36 Grm., die Gesammtoberfläche der transspirirenden Organe 31 □ Cent.

Nach vierstündigem Verweilen im Finstern bei einer am geschützten Thermometer beobachteten Lufttemperatur von 24·8—26·3° C. und einem Dunstdrucke von 15·8—17·6 (relative Feuchtigkeit 68—69 Proc.) wurde der Apparat gewogen und die Verdunstungsgrössen bei Einwirkung directen Sonnenlichtes und später bei Einwirkung diffusen Lichtes bestimmt.

Beleuchtung	Zeit des Versuches	Abgegebene Wassermenge
Sonnenlicht	11 h a. m. — 11½ h a. m.	335 Milligr.
„	11½ „ — 12 m	245 „
„	12 m. — 12½ p. m.	186 „
„	12½ p. m. — 1 „	157 „
„	1 „ — 1½ „	156 „
„	1½ „ — 2 „	156 „
„	2 „ — 2½ „	156 „
Diffuses (helles) Licht	2½ „ — 3 „	44 „
„	3 „ — 3½ „	41 „
„	3½ „ — 4 „	40 „
„	4 „ — 4½ „	40 „

Die Temperatur des vor Strahlung geschützten Thermometers und der Dunstdruck, beziehungsweise die relative Feuchtigkeit, hielten sich während des Versuches innerhalb der Grenzen, welche beim Stehen der Pflanzen im Dunkeln beobachtet wurden.

Versuch Nr 10.

Zu dem ebengeschilderten Versuche wurde ein Parallelversuch mit 3 etiolirten, kräftigen Maispflänzchen gemacht, welche ein Lebendgewicht von 1·84 Grm. und eine verdunstende Oberfläche von circa 43□ Cent. hatten.

Beleuchtung	Zeit des Versuches	Abgegebene Wassermenge
Sonnenlicht	$11^1/_4{}^h$ a. m. — $11^3/_4{}^h$ a. m.	44 Milligr.
„	$11^3/_4$ „ — $12^1/_4$ p. m.	42 „
„	$12^1/_4$ p. m. — $12^3/_4$ „	41 „
„	$12^3/_4$ „ — $1^1/_4$ „	40 „
„	$1^1/_4$ „ — $1^3/_4$ „	40 „
„	$1^3/_4$ „ — $2^1/_4$ „	40 „
„	$2^1/_4$ „ — $2^3/_4$ „	40 „
Diffuses (helles) Licht	$2^3/_4$ „ — $3^1/_4$ „	23 „
„	$3^1/_4$ „ — $3^3/_4$ „	23 „
„	$3^3/_4$ „ — $4^1/_4$ „	22 „
„	$4^1/_4$ „ — $4^3/_4$ „	22 „

Da dieser Versuch unter gleichen äusseren Verhältnissen mit dem vorhergehenden ausgeführt wurde, so ist aus dem Vergleiche der abgegebenen Wassermenge klar ersichtlich, dass die grüne Maispflanze weitaus mehr Wasser in der Sonne aushauchte, als die etiolirte. Nimmt man auf die stationären Transspirationswerthe Rücksicht, so stellt sich das Verhältniss der transspirirten Wassermengen im diffusen und im Sonnenlichte

für die grüne Maispflanze wie 1 : 3·9,
„ „ etiolirte „ „ 1 : 1·7.

Noch auffälliger gestaltet sich das Verhältniss, wenn man die nach Ablauf der ersten 30 Minuten des Versuches sich er-

gebenden Transspirationswerthe berücksichtigt. Dann bekömmt man folgende Verhältnisse der verdunsteten Wassermenge im diffusen und im Sonnenlichte:

für die grüne Maispflanze 1 : 7·6.
„ „ etiolirte „ 1 : 1·8

Zahlreiche Versuche mit grünen und etiolirten Maispflanzen im diffusen und im Sonnenlichte haben mit den ebengeschilderten gleichsinnige Resultate gegeben.

Versuch Nr. 11.

Um den Einfluss des Gaslichtes, welcher bei der grünen Maispflanze, wie die Versuche Nr. 7 und 8 lehrten, ein augenfälliger ist, auf die Transspiration der etiolirten Maispflanze kennen zu lernen, liess ich 3 Maispflänzchen, welche ein Lebendgewicht von 1·90 Grm. und eine transpirirende Oberfläche von etwa 44 □ Cent. hatten, im Transpirationsapparate durch 3 Stunden im Finstern und fand, dass die Pflänzchen bei fast constant gebliebener Temperatur (22·5° C.) und unveränderlichem Dunstdrucke (13·1; relative Feuchtigkeit = 65%) in der halben Stunde 20 Milligrm. Wasser abgeben. Bei Anwendung einer unter einem Drucke von 5 Millim. Wassersäule brennenden Gasflamme hob sich die verdunstende Wassermenge kaum merklich. Ich erhielt per ½ Stunde eine Zunahme von 1 Milligrm. Aber selbst bei Anwendung einer Gasflamme, welche unter einem Drucke von 13·5 Millim. Wassersäule brannte, zeigte sich eine kaum merklich grössere Steigung der Transspiration. Bei Benützung einer Gasflamme, die unter einem Drucke von 25 Millim. brannte, betrug die transspirirte Wassermenge 26 Milligrm. per halbe Stunde. Die Helligkeit war hier offenbar eine geringere als im vorigen Versuche die Helligkeit des diffusen Lichtes. Dennoch fand ich eine etwas stärkere Transspiration, die offenbar ihren Grund in der relativ geringeren Feuchtigkeit des Raumes, in welchem die Versuche mit künstlichem Lichte durchgeführt wurden, hatte.

Aus dem Versuche geht hervor, dass die Helligkeiten der angewendeten Gasflammen, welche bei grünen Pflanzen eine merkliche Steigerung der Transspiration hervorbringen, auf die

etiolirten fast gar keine Wirkung in Betreff der Wasserverdunstung ausüben.

Auch die Transspirationsversuche mit etiolirten Maispflanzen im Gaslichte wurden mehrfach wiederholt und hierbei die gleichen Resultate erzielt.

Der auffällige Unterschied in der Wirkung des Lichtes auf die Transspiration grüner und etiolirter Maispflanzen legt den Gedanken nahe, in den anatomischen Verhältnissen beider die Ursache hierfür zu finden. Ich habe indess keinerlei Unterschied im anatomischen Baue der Blätter etiolirter und grüner Maispflanzen gefunden, wenigstens nicht in den Entwicklungsstadien, in welchen ich selbe vor mir hatte, welche die Verschiedenheit in der Wasserverdunstung zu erklären vermöchten. Die Hautgewebe stimmten im Wesentlichen miteinander überein. Die Spaltöffnungen hatten die gleiche Grösse und Ausbildungsweise; sowohl die der grünen als die der etiolirten Maispflanzen waren fast ganz geschlossen, selbst diejenigen, welche grünen, der Sonne durch Stunden ausgesetzt gewesenen Blättern angehörten. Schon diese Wahrnehmung, zusammengehalten mit der grossen Steigerung der Transspiration durch das Licht, lässt annehmen, dass die Anschauung: die Wirkung des Lichtes auf die verdunstende Pflanze besteht darin, dass die Spaltöffnungen im Lichte sich öffnen und hierdurch den Austritt des Wasserdampfes aus den Intercellularräumen der Blätter erleichtern, zum mindesten keine allgemeine Geltung haben könne. Ich bemerke auch noch, dass ich an den Blättern von dunkel gehaltenen Exemplaren der *Hartwegia comosa* zu wiederholten Malen die Spaltöffnungen weit geöffnet gefunden habe.

Versuch Nr. 12.

Um zu sehen, ob mit der Steigerung der Chlorophyllmenge eine Verstärkung der Transspiration im Lichte erfolgt, habe ich mit 2 Versuchsobjecten gearbeitet, nämlich mit je 3 etiolirten Maispflanzen, von welchen das eine *(A)* ein Lebendgewicht von 1·82 und eine Oberfläche von 45 □ Cent., das andere *(B)* ein Lebendgewicht von 1·88 und eine Oberfläche von 47 □ Cent. besass.

A blieb vor Beginn der Wägungen so lange der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, dass die Maispflänzchen ergrünten, *B* wurde hingegen den grössten Theil der Zeit dunkel gehalten, so dass keine merkliche Chlorophyllbildung eintreten konnte.

A

Beleuchtungs-verhältnisse	Abgegebene Wassermenge per Stunde
Finster	41 Mgr.
Diffuses Licht	44 „
Dunkel gehalten durch 12 Stunden	41 „
Diffuses Licht	44 „
Sonne	148 „
Dunkel gehalten	45 „
18 Stunden im diffusen Lichte	46 „
Sonne	152 „

B

Beleuchtungs-verhältnisse	Abgegebene Wassermenge per Stunde	
Finster	44 Mgr.	
Diffuses Licht	48 „	
Finster 8 Stunden	44 „	
Diffuses Licht 8 Stunden	54 „	(Beginn des Ergrünens)
Diffuses Licht 4 Stunden	54 „	
Sonne	211 „	
6 Stunden im diffusen Lichte	57 „	(Die Pflänzchen wurden lebhaft grün)
12 Stunden im Finstern	45 „	
Diffuses Licht	58 „	
Sonne	297 „	

Die Temperatur schwankte während dieser Versuche zwischen 21·2 und 25·4° C., der Dunstdruck zwischen 12·6—14·3, die relative Feuchtigkeit zwischen 60—68 Proc.

Auch die hier mitgetheilten Parallelversuche wurden mehrmals wiederholt und hierbei gleiche Resultate erhalten, welche dahin lauten, dass mit der Zunahme der Chlorophyllmenge die Lichtwirkung auf die Transspiration zunimmt.

Versuch Nr. 13.

Vier Blüthenstände von *Spartium junceum* wurden in der bei meinen Versuchen üblichen Weise auf die Transspiration im Licht und im Dunkeln geprüft. Dieselben trugen 16 Blüthen im Gewichte von 2·64 Grm., während die grünen, im Versuche transspirirenden Theile — die im Apparate über der Ölschichte standen — bloss ein Lebendgewicht von 0.27 Grm. zeigten. Die Gesammtoberfläche der Blüthentheile betrug etwa 190 □ Cent., die der grünen transspirirenden Theile bloss etwa 4 □ Cent. Der Einfluss der grünen Organe auf die Transspiration konnte nur ein sehr geringer sein, und wurde desshalb vernachlässigt.

Temperatur am geschützten Thermometer . 24·2—26·8° C.
Dunstdruck . . . . 13·6—14·3 „
Relative Feuchtigkeit . . . . 68—74 Proc.

Beleuchtungs-verhältnisse	Abgegebene Wassermenge per Stunde
Finster	123 Mgr.
Diffuses Licht	131 „
Sonne	331 „

Der Versuch wurde mit gleichem Erfolge wiederholt.

Es ist aus diesem Versuche ersichtlich, dass auch nicht grün gefärbte Organe der Pflanzen eine Steigung der Transspiration durch das Licht erfahren können. Für die spätere Erklärung der Erscheinung ist es nothwendig, darauf aufmerksam zu machen, dass der Farbstoff der gelben Blüthen das Absorptionsspectrum des Xanthophylls zeigt [1].

Gleichzeitig mit diesem wurden Transspirationsversuche mit grünen und etiolirten Maispflanzen, mit den Blüthen von *Lilium croceum* und mit weissen Blüthen von *Malva arborea* ausgeführt. Die Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnisse blieben mithin in diesen Versuchen dieselben wie in dem ebenbeschriebenen.

---

[1] Vgl. G. Kraus, Chlorophyllfarbstoffe p. 114 ffd. Ein weingeistiger Auszug der Blüthenblätter stimmt ziemlich genau mit jenem der Blüthenblätter von *Brassica nigra* in der Absorption (Kraus l. c. p. 116) überein.

Versuch Nr. 14.

Eine Blüthe von *Lilium croceum*, deren transspirirende Oberfläche 156 □ Cent. und deren Lebendgewicht 3·32 Grm. betrug, zeigte in Licht und Dunkel folgendes Verhalten:

Beleuchtungs-verhältnisse	Abgegebene Wassermenge per Stunde
Finster	60 Mgr.
Diffuses Tageslicht	93 „
Sonne	178 „

Der in Alkohol gelöste Farbstoff des Perigons zeigte eine Verdüsterung in Blau und eine deutliche Absorption in Indigo und Violett.

Versuch Nr. 15.

Eine weisse Blüthe von *Malva arborea* mit einer transspirirenden Oberfläche von 150 □ Cent. und einem Frischgewichte der Corolle von 0·86 Grm. ergab Folgendes:

Beleuchtungs-verhältnisse	Abgegebene Wassermenge per Stunde
Finster	35 Mgr.
Diffuses Tageslicht	42 „
Sonne	95 „

Auf die Transspiration des grünen Kelches wurde keine Rücksicht genommen, indess dadurch, dass die Blüthenblätter den Rand des Gefässes, in welchem der Versuch vorgenommen wurde, überdeckten, Sorge getragen, dass der Einfluss der Verdunstung durch den Kelch nur ein geringer wurde.

Das weingeistige Extract der weissen Blüthen zeigte eine schwach gelbliche Farbe und liess bei einer Schichtendicke von 2 Ctm. eine Verdüsterung in Blau und eine Absorption in Indigo und Violett erkennen.

Um die vorstehenden drei Versuche (Nr. 13—15) untereinander vergleichbar zu machen, rechnete ich die Verdunstung im diffusen Tageslichte und im Sonnenlichte auf gleiche Verdunstung im Finstern um, und zwar in der Weise, dass ich annahm, dass jedes der drei Versuchsobjecte im Finstern per Stunde 100 Mgr.

Wasserdampf abgegeben hätte. Ferner rechnete ich auch die Verdunstung auf die Oberfläche der Versuchsobjecte um. Um aber diese Versuche auch mit jenen, die sich auf etiolirte und grüne Pflanzen beziehen, in Parallele stellen zu können, unternahm ich gleichzeitig Versuche mit drei grünen und drei etiolirten Maispflanzen, und stellte die Transspirationswerthe in ähnlicher Weise zusammen.

Die transpirirenden Organe der grünen Maispflanze hatten ein Frischgewicht von 1·01 Grm. und eine Oberfläche von 49 □ Cent.; die der etiolirten ein Gewicht von 1·81 Grm. und eine Fläche von 48 □ Cent.

Vergleich der Transspirationswerthe bei der Annahme einer Wasserabgabe von 100 Mgr. per Stunde im Finstern.

Versuchsobject	Wasserabgabe im diffusen Tageslichte	Wasserabgabe im Sonnenlichte
Spartium junceum	106 Mgr.	269 Mgr.
Lilium croceum	155 „	296 „
Malva arborea	120 „	271 „
Zea Mais (etiolirt)	106 „	290 „
„ „ (grün)	116 „	802 „

Wassermengen, welche von 100 □ Ctm. per Stunde abgegeben wurden.

Versuchsobject	im Finstern	im diffusen Tageslichte	im Sonnenlichte
Spartium junceum	64 Mgr.	69 Mgr.	174 Mgr.
Lilium croceum	38 „	59 „	114 „
Malva arborea	23 „	28 „	70 „
Zea Mais (etiolirt)	106 „	112 „	290 „
„ „ (grün)	97 „	114 „	785 „

Diese Versuche lehren, dass nicht nur grüne, sondern auch anders gefärbte Pflanzentheile eine Steigerung der Transspiration durch das Licht erfahren. Diese und zahlreiche andere mit grünen, namentlich mit beblätterten Zweigen unserer Laubbäume und nicht grünen Pflanzen ausgeführten Versuche führten mich

zu dem Resultate, dass die chlorophyllhaltigen Pflanzentheile den anders gefärbten gegenüber eine relativ starke Erhöhung der Transspiration mit der Steigerung der auf sie einwirkenden Lichtintensität unter sonst gleichen Umständen aufweisen. Schon jetzt aber möchte ich hervorheben, dass alle jene Pflanzentheile, welche unter sonst gleichen Umständen im Lichte stärker als im Finstern transspiriren, gefärbte Substanzen im Zellinhalte führen, welche in ihren Spectren mehr oder minder deutlich totale Lichtabsorptionen aufweisen.

Die in den beiden zuletzt mitgetheilten Zusammenstellungen enthaltenen Zahlen lehren auch einige Thatsachen, die mit dem Thema dieses Capitels nicht in unmittelbarem Zusammenhange stehen, die ich aber doch an dieser Stelle andeuten möchte. Man sieht, dass die Hautgewebe etiolirter Maispflanzen der Transspiration einen geringeren Schutz entgegensetzen als gleichalterige ergrünte Maispflänzchen, obgleich die Steigerung der Transspiration durch das Licht gerade bei den letzteren eine weit grössere ist. Man entnimmt dies aus den auf gleiche Oberflächen umgerechneten Transspirationswerthen für den dunklen Raum.

Auch möchte ich noch bemerken, dass die im I. Abschnitte für grüne Pflanzen abgeleiteten Sätze über den Gang der Transspiration bei Aenderung der Lichtintensität, wie Versuch Nr. 10 lehrt, auch für die etiolirten und, wie andere Versuche lehrten, auch für andere nicht grüne Pflanzentheile gelten, und zwar, wie ich gefunden habe, für alle jene Pflanzen und Pflanzentheile, welche durch das Licht überhaupt eine Steigerung der Transspiration erfahren.

III. Einfluss der dunklen Wärmestrahlen auf die Grösse der Transspiration.

Aus den angeführten Versuchen geht deutlich hervor, welchen starken Einfluss das Licht auf die Transspiration ausübt. Es lässt sich aus einigen oben mitgetheilten Zahlen berechnen, wie gross die Wirkung ist, die bei den sonst herrschenden Bedingungen der Versuche (Luftdruck, Dunstdruck, relative Feuchtigkeit, Temperatur des umgebenden Mediums etc.) vom Lichte hierbei ausgeht. So lehrt beispielsweise Versuch Nr. 7, dass bei den drei Maispflänzchen, mit welchen experimen-

tirt wurde, von der transspirirten (stationär gewordenen) Wassermenge zu stellen sind

auf die Wirkung des Sonnenlichtes	86	Proc.
„ „ „ „ diffusen (hellen) Tageslichtes	60	„
„ „ „ „ Gaslichtes	15	„

Die Reste auf 100 geben uns die Wassermengen an, welche in jedem dieser drei Fälle durch die übrigen Bedingungen zur Verdunstung gelangten.

Ich hielt es nicht für durchführbar, die dem Lichte zufallende Wirkung bei der Transspiration der Pflanze mit mathematischer Schärfe auszumitteln, da nicht nur die Feststellung der während der einzelnen Versuche herrschenden Lichtintensität auf unüberwindliche Schwierigkeiten stösst, und weil, wie meine mit allen Vorsichten im constanten künstlichen Lichte ausgeführten Experimente mir deutlich zeigten, jede einzelne Versuchspflanze mit gewissen im Experimente nicht auszuschliessenden individuellen Eigenthümlichkeiten behaftet ist, welche die Auffindung mathematischer Werthe für den Einfluss des Lichtes auf die Transspiration, im Vergleiche zu dem Einflusse der übrigen hierbei betheiligten Factoren, geradezu unmöglich machen.

Ich wende mich nun der Frage zu, welche Leistung den einzelnen Strahlengattungen bei der Transspiration zufällt.

Die Beziehung der verschieden brechbaren leuchtenden Strahlen zur Transspiration suchte man, wie ich schon andeutete, bereits experimentell festzustellen. Auf diesen Gegenstand komme ich im nächsten Capitel zu sprechen. In diesem Abschnitte will ich die Frage erörtern: welchen Einfluss haben die ausserhalb Roth gelegenen dunklen Wärmestrahlen auf den genannten physiologischen Process der Pflanze.

Es hat allerdings Dehérain[1] einen Versuch, welchen ich im nächsten Capitel zu schildern haben werde, ausgeführt, in welchem eine Pflanze hinter einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff transspirirte, also hinter einem Medium, welches,

[1] l. c. p. 17.

wie die Untersuchungen Tyndall's[1] lehrten, bei einer gewissen Schichtendicke keine leuchtenden, wohl aber alle dunklen Wärmestrahlen durchlässt. Dieser Versuch kömmt aber schon desshalb für die Entscheidung der genannten Frage gar nicht in Betracht, weil Dehérain bloss die Verdunstung im dampfgesättigten Raume bestimmte. Dehérain deducirt aus seinen Experimenten, dass grüne Organe der Pflanzen im dunstgesättigten Raume der Einwirkung jener Strahlen ausgesetzt, welche, von der Sonne ausgehend, eine concentrirte Jodlösung in Schwefelkohlenstoff passirten, so gut wie keine Wirkung auf die transspirirende Pflanze äussern.

Meine Versuche wurden mit jungen grünen Maispflänzchen und mit abgeschnittenen Zweigen von *Taxus baccata* angestellt. Ich führte im Sonnenlichte vier Versuchsreihen mit Maispflänzchen und eine mit Eibenzweigen, im Gaslichte neun Versuchsreihen mit ersteren und zwei mit letzteren durch. Diese sechzehn Versuchsreihen führten übereinstimmend zu dem Resultate: dass die dunklen Wärmestrahlen einen starken Einfluss auf die Wasserverdunstung der Pflanze ausüben und dass die Wirkung derselben im Vergleiche zu den übrigen Strahlen des Spectrums (den leuchtenden und ultravioletten) bei Anwendung des Gaslichtes[2] eine stärkere ist als bei Sonnenlicht.

Da es sich mir bloss um die Darlegung des eben genannten Sachverhaltes handelte, und ich schon von vornherein darauf verzichtete, mathematisch genaue Werthe für das Verhältniss der Wirkung der dunklen Wärmestrahlen zu den übrigen Antheilen des Spectrums zu ermitteln — die Aufsuchung solcher Werthe scheint mir auch in dieser Frage zur Zeit noch ein fruchtloses Unternehmen — so unterlasse ich es, alle von mir bei Durchführung der oben genannten Versuchsreihen ermittelten Resultate hier mitzutheilen, sondern beschränke mich darauf, die Methode zu schildern, nach welcher ich experimentirte und

---

[1] Pogg. Ann., Bd. 124.

[2] Dass die Menge der leuchtenden Strahlen im Vergleiche zu jenen der dunklen im Gaslichte nur eine geringe ist, lehrten die Untersuchungen Tyndall's; erstere verhält sich zu letzterer wie 4:96. (S. Wüllner Lehrbuch der Experimentalphysik 3. Aufl. III, p. 170.)

bloss zwei Versuchsreihen mit allen mir nöthig erscheinenden Details hier wieder zu geben, beifügend, dass alle übrigen mit den mitzutheilenden im Wesentlichen übereinstimmende Resultate gegeben haben.

Die eine Versuchsreihe wurde im Gaslichte, die andere im directen Sonnenlichte vorgenommen.

Zu beiden Experimentalreihen dienten frische, grüne Maispflänzchen, welche behufs Prüfung auf ihre Transspiration in der oben beschriebenen Weise adjustirt wurden.

Die mit den Versuchspflanzen versehenen Transspirationsapparate wurden von weiten zur Aufnahme von Flüssigkeiten dienenden doppelwandigen Glasglocken so bedeckt, dass die transspirirenden Theile tief in den Raum der Glocke ragten; es wurde aber dafür Sorge getragen, dass kein feuchter Raum entstehen konnte und dass das von unten her zu den Versuchspflänzchen gelangende Licht nur eine so geringe Intensität besass, dass die Wirkung desselben auf die Transspiration als verschwindend klein angenommen und desshalb vernachlässigt werden durfte. Jede einzelne Glasglocke wurde zu diesem Behufe auf je drei fünf Ctm. hohe Holzpflöcke aufgestellt, so dass die Luft zu- und austreten konnte. Gegen die Lichtquelle zu waren die Pflänzchen vor der Wirkung des reflectirten Lichtes durch Pappendeckelschirme, welche die Holzpflöcke etwas überragten, möglichst geschützt.

Für jede der beiden Versuchsreihen wurden drei gleiche doppelwandige Glasglocken verwendet. Eine wurde mit Schwefelkohlenstoff, die zweite mit einer concentrirten Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, die dritte mit einer concentrirten Lösung von Thonerdekalialaun gefüllt. Die erste liess Licht und dunkle Wärme, die zweite bloss dunkle Wärme, die dritte hingegen vorwiegend die leuchtenden und ultravioletten Strahlen durch. Auf die Absorption der dunklen Wärme durch die Glaswände der Glocken wurde keine Rücksicht genommen, ebenso nicht auf die Verluste an Licht- und Wärmestrahlen in Folge der Reflexion an den Glaswänden, Verluste, welche indess als gleich gross bei allen drei Glasglocken angenommen werden durften. Schon in Folge der Nichtberücksichtigung der genannten Fehlerquellen, aber auch aus anderen oben schon angedeuteten Gründen

konnten selbstverständlich keine völlig übereinstimmenden Zahlen erhalten werden, die ich übrigens, wie schon bemerkt auch nicht suchte. Vor groben Fehlern war ich indess durch eine einfache Controle geschützt. Ich bestimmte nämlich bei der im Versuche herrschenden Luftfeuchtigkeit und Temperatur die Transspiration der Versuchspflanzen bei Ausschluss von Licht, nämlich in dem völlig verdunkelten Versuchsraume, in welchem die Apparate, von den Glasglocken bedeckt, wie im Versuche bei Licht aufgestellt waren. Durch psychrometrische Bestimmungen konnte ich finden, welche Feuchtigkeitsverhältnisse innerhalb der Glasglocken herrschten. Es stellte sich heraus, dass dieselben nur ganz wenig von jenen abwichen, welche bei den Versuchen im Lichte herrschten. Die Unterschiede in den Dampfspannungen betrugen höchstens 0·8 Mm.; die in der relativen Feuchtigkeit höchstens 2 Proc.

Die im Finstern hinter den Glasglocken erzielten Transspirationswerthe bezeichne ich einstweilen mit v.

Es wurden in jeder Versuchsreihe drei Transspirationsapparate verwendet, von welchen jeder mit drei Maispflänzchen versehen war. Ich nenne die in je einem Apparate befindlichen Pflänzchen A, B, C und die denselben entsprechenden Werthe von v: v_1, v_2 und v_3.

A wurde in die mit Schwefelkohlenstoff gefüllte Flasche gebracht. Innerhalb der Zeit, innerhalb welcher im Finstern v_1 abgegeben wurde, betrug die im Lichte verdunstete Wassermenge x.

B wurde mit der die Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff führenden Glasglocke, C mit der die Alaunlösung enthaltenden Glasglocke bedeckt. B gab im Lichte die Wassermenge y, C die Wassermenge z ab, und zwar innerhalb derselben Zeit, innerhalb welcher im Finstern die Wassermengen v_1, v_2 und v_3 ausgehaucht wurden.

Bezeichne ich die ausgehauchten Wassermengen, welche ausschliesslich auf die Wirkung der leuchtenden (und möglicherweise auch der hierbei gleichzeitig vorhandenen ultravioletten) Strahlen beruht, mit w_1, jene, welche ausschliesslich der dunklen Wärme zuzuschreiben ist, mit w_2, endlich jene, welche auf Kosten der übrigen Vegetationsbedingungen zu stellen ist, mit w_3, so ist klar, dass unter gleichen äusseren Bedingungen und bei

völliger Gleichheit der Versuchspflänzchen, ferner unter der Voraussetzung, dass die Jodlösung alles Licht, die Alaunlösung alle dunkle Wärme absorbirt, hingegen der Schwefelkohlenstoff beide durchlässt,

$$w_1 = x - y$$
$$w_2 = x - z$$
$$w_3 = y + z - x$$

sein muss.

Nun sind aber die oben angeführten v_1, v_2 und v_3 nichts anderes als w_3. Es muss somit die Differenz zwischen dem berechneten Werthe w_3 und den beobachteten Werthen für die Transspiration im Finstern (v_1, v_2 und v_3; die aber unter den gemachten Voraussetzungen untereinander gleich sein müssen) die Summe der in w_1 und w_2 liegenden Fehler enthalten.

Bei meinen Versuchen stimmte nun der berechnete Werth mit dem beobachteten für die Verdunstung im Finstern nicht überein. Die Differenzen sind sogar nicht unbeträchtlich (1—12 Proc. des beobachteten Werthes), aber doch nicht so bedeutend, dass sie den oben bereits mitgetheilten Satz als illusorisch erscheinen liessen.

Ich lasse nun die beiden Versuchsreihen folgen.

Versuch Nr. 16.

Lichtquelle: Gasflamme, welche unter einem Drucke von 20 Millim. Wassersäule brannte. Die doppelwandigen Glasglocken standen in einem horizontalen Abstande von 0·65 und in einem verticalen Abstande von 0·85 Met. von der Flamme entfernt;

Temperatur: { geschütztes Thermometer: 23.5—24·0° C.
Radiations-Thermometer: 28·2° C.

Dunstdruck: 15·2—16·3.

Relative Feuchtigkeit: 71—72 Proc.

Lebendgewicht der transspiriren den Organe von				*A* :	1·70	Grm.
„	„	„	„	„ *B* :	1·49	„
„	„	„	„	„ *C* :	1·81	„
Oberfläche	„	„	„	„ *A* :	42 □	Ctm.
„	„	„	„	„ *B* :	38	„
„	„	„	„	„ *C* :	46	„

v_1	(stationärer	Werth	pr. Stunde)	50 Milligr.
v_2	"	"	"	43 "
v_3	"	"	"	56 "
x	"	"	"	69 "
y	"	"	"	52 "
z	"	"	"	64 "

Rechnet man auf gleiche Transspiration im Finstern um, indem man $v_1 = v_2 = v_3 = 100$ Milligr. pr. Stunde setzt; so erhält man

für x den Proportionalwerth 138 Milligr. pr. Stunde
" y " " 120 " " "
" z " " 114 " " "

und somit für

$$w_1 = 138-120 = 18$$
$$w_2 = 138-114 = 24$$
$$w_3 = 120+114-138 = 96.$$

Der berechnete Werth für die Transspiration im Finstern ist 96, während der aus der Beobachtung resultirende = 100 ist; woraus sich ergibt, dass entweder die Wirkung des Lichtes oder die der Wärme oder beide im Experimente zu gross, beziehungsweise zu klein gefunden wurde.

Sieht man von den Beobachtungsfehlern ab und nimmt man den durch die Gesammtstrahlung des Lichtes bedingten Transspirationswerth gleich 100 an, so fallen unter den gegebenen Bedingungen 43 Proc. auf die Wirkung der leuchtenden (und eventuell auch der ultravioletten), hingegen 57 Proc. auf die der dunklen Wärmestrahlen.

Versuch Nr. 17.

Lichtquelle: Sonne.

Temperatur: {geschütztes Thermometer: 23·5—24·2°C. / Radiationsthermometer: 32·6°C.}

Dunstdruck: . . . . 15·8—16·4.

Relative Feuchtigkeit: . . . . 73—75 Proc.

Lebendgewicht der transspirirenden Organe:
- A . . . 1·79 Grm.
- B . . . 1·72 "
- C . . . 1·90 "

Transspirirende Oberfläche	*A* . . .	44 □Ctm.
	B . .	44 „
	C . . .	48 „

Die mit *A* bezeichneten drei Maispflänzchen transspirirten hinter Schwefelkohlenstoff, die mit *B* bezeichneten hinter der Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, endlich die, welche *C* genannt wurden, hinter der concentrirten wässerigen Alaunlösung.

	in der Stunde
v_1 die Verdunstung von *A* im Finstern betrug	48 Millgr.
v_2 „ *B* „ „	45 „
v_3 „ *C* „ „	50 „
A transspirirte im Lichte hinter Schwefelkohlenstoff . . . . „	151 „
B „ „ „ „ der Jodlösung in Schwefelkohlenstoff . . . . . „	62 „
C „ „ „ „ der Alaunlösung	133 „

Nimmt man wieder wie im vorigen Versuche

$$v_1 = v_2 = v_3 = 100;$$

so erhält man für

$$x = 314$$
$$y = 137$$
$$z = 266$$

und mithin für

$$w_1 = x - y = 177$$
$$w_2 = x - z = 48$$
$$w_3 = y + z - x = 89.$$

Die zuletzt mitgetheilte Zahl lehrt nun, dass der für die Transspiration im Finstern berechnete Werth von dem beobachteten um 11 Proc. abweicht, mithin entweder w_1 (Wirkung der leuchtenden und ultravioletten Strahlen) oder w_2 (Wirkung der dunklen Wärmestrahlen) oder beide Werthe mit Fehlern behaftet sind.

Auch liegt in diesem wie in dem vorher mitgetheilten Versuche (Nr. 16) ein Theil des durch $v - w_3$ ausgedrückten Fehlers darin, dass die Fähigkeit zu transspiriren bei den Versuchspflanzen nicht absolut die gleiche ist.

Unter der allerdings rohen, allein für ein Resultat, welches nur eine approximative Geltung haben soll, immerhin erlaubten Annahme, dass die gefundenen Werthe richtig sind, kommen unter den sonstigen Bedingungen des Experiments von der Gesammtwirkung des Lichtes bei der Transspiration auf die leuchtenden und ultravioletten 79, auf die dunklen Wärmestrahlen 21 Proc.

IV. Beziehung zwischen der Brechbarkeit der Lichtstrahlen und der Transspiration.

Nach den in der Einleitung gegebenen Litteraturangaben erscheint es zunächst nöthig, die Angaben Dehérain's über den Einfluss verschieden brechbarer Strahlen auf die Grösse der Transspiration zu prüfen.

Die auf unseren Gegenstand Bezug nehmenden Resultate der Beobachtungen des genannten Forschers sind in Kürze folgende:[1]

1. Die Wirkung des Lichtes bei der Transspiration beruht auf der leuchtenden und nicht auf der wärmenden Kraft der Lichtstrahlen.

2. Die am meisten leuchtenden Strahlen des Lichtes („gelb und roth“), welchen die grösste Kohlensäure zerlegende Kraft innewohnt, sind auch diejenigen, welche die Transspiration am meisten begünstigen. (l. c. p. 23).

Der erste dieser beiden Sätze steht aber schon im Widerspruche mit den im II. Abschnitte dieser Abhandlung mitgetheilten Beobachtungen; ich kann schon desshalb die allgemeine Giltigkeit desselben nicht anerkennen. Ich hoffe aber durch meine weiter unten folgenden Untersuchungen darthun zu können, dass der von Dehérain aufgestellte Satz 1 umzukehren ist. Nach meinen Beobachtungen wirkt das Licht bei der Transspiration der Pflanze gerade nur dann und nur dadurch, dass es in Wärme umgesetzt wird.

Der zweite Satz, dessen Unrichtigkeit ich unten darlegen werde, würde, wenn er richtig wäre, uns eine merkwürdige Thatsache lehren, aber noch immer nicht die Erscheinung der verstärkten Transspiration im Lichte erklären. Denn die starke

---

[1] S. l. c. p. 17—23.

Transspiration im Lichte, welche sich anerkanntermassen so weit steigern kann, dass die Pflanze selbst im dunstgesättigten Raume noch Wasserdampf ausscheidet, wird offenbar nicht durch die gleichzeitige Wirksamkeit eines Processes erklärt, bei welchem, wie bei der Zerlegung der Kohlensäure im Lichte Wärme gebunden wird; vielmehr beruht, wie zuerst Sachs[1] hervorhob, die Transspiration der Pflanze im feuchten Raume, auf innerer Erwärmung der Gewebe der transspirirenden Organe. Sachs glaubte eben die Ursache der Erwärmung in der Athmung der Pflanze gefunden zu haben. Wenn nun auch bei der Athmung der Pflanze stets Wärme frei wird, so kann dieselbe denn doch nicht die Temperatur der Gewebe bei dem im Lichte gleichzeitig vorhandenen Reductionsprocesse und dem Verdunstungsprocesse so bedeutend steigern, dass sich hiedurch die Wasserverdunstung im feuchten Raume erklären liesse. Die durch die Athmung resultirenden Wärmemengen werden im Lichte durch die beiden anderen der genannten Processe frei werdenden Wärmemassen mehr als gedeckt. Da nun, wie ich finde, die Verdunstung im feuchten Raume nur an vom Lichte getroffenen Pflanzen statt hat, so ist es begreiflich, dass wir, um den letztgenannten merkwürdigen Process verstehen zu können, noch andere Ursachen der Erwärmung beleuchteter Pflanzen werden ausfindig machen müssen.

Ich kehre zu Dehérain's Experimenten zurück. und will zunächst die Methode schildern, nach welcher er operirte. Dehérain folgte dem Beispiele Guettard's und bestimmte die transspirirte Wassermenge dadurch, dass er das condensirte Wasser wog, welches eine im feuchten Raume transspirirende Pflanze (oder richtiger gesagt ein Pflanzentheil) abgab. Er führte zu diesem Behufe Blätter von Mais- und anderen Pflanzen in verschliessbare Glasgefässe ein, und setzte die letzteren dem Sonnenlichte aus. Der Raum des Glasgefässes sättigte sich alsbald mit Wasserdampf; die Blätter gaben aber noch weiteren Wasserdampf ab, der sich in flüssiger Form an den Gefässwänden niederschlug. Das Glasgefäss wurde vor und nach dem Versuche gewogen. Die Zunahme an Gewicht, bedingt durch das con-

[1] Experimentalphysiologie 226—227.

densirte Wasser, gab den Transspirationswerth für die im Versuche gegebenen Bedingungen an.

Um die transspirirenden Organe verschieden brechbarem Lichte auszusetzen, brachte er erstere, von den Glasgefässen umschlossen, hinter Glasgefässe (manchons), welche farbige Lösungen enthielten. Er benützte eine wässerige Lösung von neutralem chromsaurem Kali (Draper, Sachs, Pfeffer und andere Beobachter verwendeten und zwar mit Vortheil saures chromsaures Kali; das neutrale Salz lässt bei einer Schichtendicke von 1 Ctm. noch das ganze Grün des Spectrums durch, während das saure Salz einen grossen Theil von Grün bei gleicher Schichtendicke absorbirt und einen Theil des Grüns stark abschwächt), ferner Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak, Carmin, Kupferchlorür, endlich auch eine violette Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff. Näheres über die Absorptionsverhältnisse der genannten Lösungen hat Dehérain nicht mitgetheilt.

Hinter diesen Lösungen wurden in besonderen Apparaten auch Versuche mit der Zerlegung der Kohlensäure angestellt. Der Verfasser gibt nun an, bei welcher Temperatur er operirte, wie viel Kohlensäure hinter den mit farbigen Lösungen gefüllten Gefässen zerlegt wurde und wie viel Wasser die Blätter abgaben.

Dehérain's Resultate weisen nun eine auffällige Coïncidenz in Betreff der Kohlensäurezerlegung und der Transspiration auf. Die stärkste Transspiration wurde hinter der gelben Lösung gefunden, hinter Jodschwefelkohlenstoff war die im feuchten Raume abgegebene Wassermenge verschwindend klein.

Die Gewichtsunterschiede der transspirirten Wassermengen bei Anwendung verschiedenfarbiger Flüssigkeiten waren ganz beträchtlich, wie folgende Beobachtungsreihe lehrt.

Ein Blatt von Weizen im Gewichte von 0·175 Grm. gab in der Stunde bei einer Temperatur von 38° C. ab:

hinter neutralem chromsauren Kali . . . . 0·111 Grm.
„ schwefelsaurem Kupferoxydammoniak . . . 0·011 „
„ Jodlösung in Schwefelkohlenstoff . . . . . . 0·001 „

Risler bestätigte Dehérain's Beobachtungen.

Um die Beziehung der Brechbarkeit der leuchtenden Strahlen zur Wasserverdunstung genau kennen zu lernen, habe ich einen

andern Weg als Dehérain eingeschlagen. Wie bei meinen andern Versuchen über Transspiration bestimmte ich die hierbei sich ergebenden Wasserverluste durch directe Wägung und emancipirte mich stets durch die Art der Versuchs-Anstellung vom absolut feuchten Raume. Will man möglichst reine Resultate bekommen, so ist es nöthig, bei möglichst constantem Feuchtigkeitsverhältnisse der Atmosphäre zu arbeiten. Fügt man aber wie es Dehérain gethan, die transspirirenden Pflanzentheile in geschlossene Glasgefässe ein, so ist ersichtlich, dass man das gerade Gegentheil hievon thut: es steigert sich bis zur Sättigung des Raumes für die herrschende Temperatur der Gehalt der Luft des Versuchsgefässes an Wasserdampf und demzufolge müssen sich eigentlich die Transspirationswerthe fortwährend ändern. Die Frage über die Transspiration im absolut feuchten Raume, mit welcher Herr Dehérain es zu thun hatte, ist eine ganz specielle, welche wohl erst dann erfolgversprechend gelöst werden kann, wenn die Beziehungen der Vegetationsbedingungen und der Organisation der verdunstenden Organe zur Transspiration im Allgemeinen aufgeklärt sein werden.

Ich habe zur Lösung der im Titel dieses Abschnittes präcisirten Aufgabe zwei Wege eingeschlagen, indem ich die Transspiration der Pflanze nicht nur in bestimmten Antheilen des objectiven Spectrums, sondern auch unter doppelwandigen Glasflaschen, welche mit bestimmten Flüsigkeiten gefüllt waren und nur Licht bestimmter Brechbarkeit durchliessen, prüfte.

Ich berichte hier zunächst über meine Transspirationsversuche im objectiven Spectrum.

Zur Herstellung des objectiven Spectrums diente der hierfür jetzt allgemein benützte Soleil'sche Apparat, welcher bekanntlich aus einem aus schwerem Flintglas erzeugten, einen brechenden Winkel von 60° besitzenden Prisma besteht, hinter welchem sich eine Biconvexlinse mit einer Brennweite von etwa einem Meter befindet.

Das von einem Heliostaten reflectirte Sonnenlicht fiel durch eine im Fensterladen angebrachte Spalte in den finstern Versuchsraum. Das um seine Axe drehbare Prisma war so aufgestellt, dass die mittleren Strahlen des Spectrums das Minimum der Ablenkung aufwiesen. Die übrigen Vorsichten zur Gewinnung

eines scharfen objectiven, die Fraunhofer'schen Linien zeigenden Spectrums sind bekannt.

Das Spectrum hatte eine Höhe von 15 Ctm. und bei grosser Lichtstärke eine so ansehnliche Breite — die Entfernung der Fraunhofer'schen Linie *B* von *D* betrug etwa 12 Ctm. —, dass es ein Leichtes war, kleine zu Transspirationsversuchen adaptirte Pflänzchen innerhalb bestimmter Bereiche des Spectrums aufzustellen.

Die Versuchspflänzchen kamen in dem hier oft genannten einfachen Transspirationsapparate unmittelbar auf die Wage, und standen während des ganzen Versuches mit denselben der Wirkung bestimmter Spectralfarben ausgesetzt. Im Beginn des Versuchs wurde die Wage in's Gleichgewicht gebracht, die betreffenden Lichtstrahlen auf die transspirirenden Theile der Pflanze fallen gelassen, nach Entlastung der Wage um ein bestimmtes Gewicht die Wage ausser Arretirung gebracht, und indem durch genaue Stellung des Heliostaten dafür Sorge getragen wurde, dass die Pflanze der Wirkung der für den Versuch im vornherein festgestellten Strahlengattung ausgesetzt blieb, die Zeit bestimmt, welche bis zur Herstellung des Gleichgewichtes auf der Wage verstrich. Nach Eintritt des Gleichgewichtes wurde arretirt, ein bestimmtes Gewicht abgenommen, die Zeitbestimmung für den Eintritt des Gleichgewichtszustandes gemacht und in der gleichen Weise fortgefahren.

Der Versuch wurde mit der besten Wage, welche im Besitze des pflanzenphysiologischen Institutes sich befindet, ausgeführt. Es ist dies eine Wage, welche bei 100 Grm. Belastung noch ein Gewicht von 0·5 Millgrm. genau anzeigt. Der Eintritt des Gleichgewichtszustandes der Wage konnte an der Scala des Wagezeigers genau und ohne Anwendung besonderer Beleuchtungsvorrichtungen im Versuchsraume bestimmt werden, da die im Versuche unwirksamen Theile des Spectrums nicht nur die Scale beleuchteten, sondern noch immerhin ausreichten, um an der Uhr und am Psychrometer abzulesen. Dass für Beseitigung störender Lichtreflexe Sorge getragen wurde, braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden.

Die Versuche wurden nicht nur auf die sichtbaren Strahlengattungen des Spectrums, sondern auch auf die ultravioletten

ausgedehnt. Wie ich aber schon in der Einleitung erwähnte, führten die letzteren Strahlengattung ausgeführten Versuche zu keinem befriedigenden Resultate. Ich erhielt nämlich bei Benützung der dunklen chemischen Strahlen Transspirationswerthe, welche von den im verfinsterten Raume bei gleichen Verdunstungsbedingungen etwas verschieden waren. Da es aber nicht vollkommen gelang, die Lichtwirkung der benachbarten violetten Strahlen, ohne die Luftfeuchtigkeitsverhältnisse merklich zu stören auszuschliessen, so ist immerhin möglich, dass die unter dem Einflusse jener Strahlen erhaltene Verstärkung der Transspiration auf Kosten der genannten Fehlerquelle zu setzen ist.

Bevor ich meine diesbezüglichen Versuchsergebnisse mittheile, möchte ich nur noch bemerken, dass ich den im II. Abschnitte geschilderten Einfluss der dunklen Wärmestrahlen durch Benützung des objectiven Spectrums aus dem Grunde zu controliren unterliess, weil ich nur Flintglasprismen, welche bekanntlich die dunkle Wärme stark zurückhalten, zur Verfügung hatte.

Versuch Nr. 18.

Zu diesem Versuche dienten drei starke grüne Maispflänzchen, deren transspirirenden Organe 2·40 Grm. wogen und welche eine Oberfläche von 58 □ Ctm. hatten.

Selbe gaben bei einer Temperatur von 22·1—22·5° C., einem Dunstdruck von 14·6—15·2 und einer relativen Feuchtigkeit von 74—75 Proc. im F i n s t e r n, genauer gesagt, bei jener sehr geringen Helligkeit, welche im Versuchsraume, natürlich ausserhalb des Bereiches des Spectrums herrschte, per Stunde 62 Millgr. Wasser ab.

Die Feuchtigkeits- und Temperatursverhältnisse änderten sich während der Versuche im Lichte nur innerhalb der oben angegebenen Grenze.

Die Pflanzen wurden im Transspirationsapparate auf die Wage gestellt und in der von ihnen eingenommenen Stellung auf der Wage belassen, so dass die einzelnen Blätter stets in derselben Richtung von den einfallenden Lichtstrahlen getroffen wurden.

Die Pflanze wurde zuerst in's Roth gebracht; die grösste Zahl der Blätter wurde getroffen von den zwischen $B—C$ ge-

legenen Strahlen. Es wurde die Zeit notirt, welche verfloss, bis 10 Milligr. von der Versuchspflanze durch Transspiration abgegeben wurden. Dieser Zeitwerth ist in den folgenden Zusammenstellungen mit *Z*, die auf eine Stunde umgerechnete Wassermenge mit *W* bezeichnet.

	Z	*W*
Wägung Nr. 1	4·9 Minut.	122 Milligr.
„ „ 2	4·7 „	128 „
„ „ 3	4·1 „	146 „
„ „ 4	4·2 „	143 „
„ „ 5	4·3 „	139 „
„ „ 6	4·3 „	139 „
„ „ 7	4·4 „	136 „
„ „ 8	4·4 „	136 „
„ „ 9	4·4 „	136 „

Hierauf wurde die Pflanzen so parallel zu sich selbst sammt der Wage verschoben, dass sie in Gelb-Orange zu stehen kam.

	Z	*W*
Wägung Nr. 1	5·3 Minut.	113 Milligr.
„ „ 2	4·4 „	136 „
„ „ 3	4·8 „	125 „
„ „ 4	4·9 „	122 „
„ „ 5	4·8 „	125 „
„ „ 6	4·9 „	122 „
„ „ 7	4·9 „	122 „

Im Blau, etwa im Bereiche des vorletzten Absorptionsstreifens (VI) einer normalen Chlorophylllösung stehend, ergaben sich folgende Werthe:

	Z	*W*
Wägung Nr. 1	4·6 Minut.	130 Milligr.
„ „ 2	4·3 „	139 „
„ „ 3	3·9 „	154 „
„ „ 4	4·0 „	150 „
„ „ 5	4·1 „	146 „
„ „ 6	4·1 „	146 „
„ „ 7	4·1 „	146 „

In Ultraviolett:

	Z	W
Wägung Nr. 1	7·5 Minut.	80 Milligr.
„ „ 2	8·2 „	73 „
„ „ 3	9·1 „	66 „
„ „ 4	8·5 „	70 „
„ „ 5	8·5 „	70 „

Bei den hier mitgetheilten Zeitbestimmungen wurden allerdings Einheiten von Secunden notirt, dieselben aber in den Resultaten rund in Zehntel-Minuten ausgedrückt.

Nimmt man an, dass die in jeder Reihe zuletzt gegebenen Zahlen stationäre Werthe angeben, so stellen sich die Transspirationswerthe bei sonst gleichen äusseren Bedingungen für die einzelnen Lichtgattungen folgendermassen:

	Verdunstung in der Stunde
Roth	136 Milligr.
Gelb-Orange	122 „
Blau	146 „
Ultraviolett	70 „
Finster	62 „

Ich will nun keineswegs behaupten, dass die in jeder Versuchsreihe zuletzt gefundenen Zahlen die für die einzelnen Strahlengattungen stationären Transspirationswerthe beziffern. Die in jeder einzelnen Partie des Spectrums ausgeführten Beobachtungen währten zu kurz als dass die genannten Werthe mit voller Beruhigung als die für die gegebenen Bedingungen stationär gewordenen genommen werden könnten.

Nehme ich die Mittelwerthe aus den angestellten Beobachtungen, wobei ich erhalte

für Roth	135 Milligr.	pr. Stunde.
„ Gelb-Orange	123 „	„
„ Blau-Violett	144 „	„

oder das in jeder Reihe entsprechende Minimum oder Maximum; ich erhalte stets dasselbe Resultat, welches dahin lautet, dass die am meisten leuchtenden Strahlen für die Transspiration im Lichte weniger als die den Absorptions-

streifen I bis VII des Chlorophyllspectrums entsprechenden Strahlen leisten.

Diese Auffindung steht im Einklange mit der oben constatirten Thatsache, dass die grünen Pflanzentheile im Sonnenlichte eine auffallende Steigerung der Transspiration erfahren, und legt den Gedanken nahe, zu prüfen, ob nicht jene Strahlengattungen, welche im Chlorophyllspectrum absorbirt erscheinen, diejenigen sind, welche entweder ausschliesslich oder doch wenigstens vorwiegend die starke Transspiration im Lichte hervorrufen.

Die Prüfung dieses Gedankens, auf welchen mich alle meine über den Gegenstand dieser Abhandlung angestellten Versuche hindrängten, scheint mir aus folgenden Gründen geboten. Die starke Transspiration grüner Pflanzentheile im Lichte spricht für eine Betheiligung des Chlorophylls bei diesem physiologischen Processe. Welcher Art kann nun diese Betheiligung sein? Ich habe schon früher nachgewiesen[1], dass die im Chlorophyllspectrum ausgelöschten Strahlen in Wärme umgesetzt werden. Wenn nun das Licht auf die in den Zellen eingeschlossenen Chlorophyllkörner trifft, so wird ein Theil derselben ausgelöscht und in Wärme umgesetzt. Hierdurch wird die Temperatur der Chlorophyll führenden Gewebe erhöht und es steigert sich die Spannkraft der in den Intercellularen enthaltenen Wasserdämpfe, wodurch unter der Voraussetzung; dass die äusseren Vegetationsbedingungen sich nicht ändern, eine Steigerung der Transspiration eintreten muss. Für die Berechtigung meiner Annahme spricht wohl auch der Umstand, dass in allen jenen Pflanzentheilen, welche eine Steigerung der Transspiration durch das Licht erfahren, Substanzen nachweislich sind, deren Lösungen deutliche Absorptionsstreifen zeigen (Vgl. Vers. Nr. 13—15), welche uns auch bei diesen Körpern einen Umsatz des durchgehenden Lichtes in Wärme annehmen lassen.

Wenn nun meine Annahme richtig ist, dass die im Chlorophyllspectrum ausgelöschten Strahlen diejenigen sind, welche die Transspiration am meisten begünstigen oder gar ausschliesslich

---

[1] Unters. über die Beziehung des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Bd. 69, I. Abth. 1874, Sep. p. 4.

bei der Wasserverdunstung im Lichte betheiligt sind — was weiter unten entschieden werden soll —; so müssen bei den Versuchen im objectiven Spectrum alle jene Regionen desselben eine Verstärkung der Transspiration hervorzurufen, welche den Absorptionsstreifen entsprechen.

Die reich entwickelten Pflanzen der vorigen Versuchsreihe waren hiezu nicht tauglich, weil sie in so kleine Abschnitte des Spectrums, wie die den Absorptionsstreifen des Chlorophylls entsprechenden nicht hineingestellt werden konnten, auch die einzelnen Blätter von anderen allerdings gut beleuchteten beschattet waren. Es musste der Versuch so angestellt werden, dass ein der vollen Wirkung bestimmter Lichtfarben ausgesetztes Blatt in die den grösseren Absorptionsstreifen des Chlorophyllspectrums entsprechenden Partien und auch wieder in andere Theile des Spectrums gestellt werden konnte die solchen Partien des Chlorophyllspectrums entsprechen, welche frei von dunklen Lichtabsorptionen sind.

Ich theile den Versuch mit seinen wichtigeren Einzelnheiten im Nachfolgenden mit.

Versuch Nr. 19.

Eine mit drei intensiv grünen Blättern versehene Maispflanze wurde in den Transspirationsapparat gebracht, und nach Fixirung der Pflanze die zwei kleineren Blätter abgeschnitten. Die Schnittflächen wurden durch Knetwachs verklebt. Die Gewichtsreduction des verwendeten Knetwachses bei längerem Stehen an der Luft war entweder gleich Null oder doch so gering, dass selbe nach Ablauf mehrerer Tage noch gar nicht constatirt werden konnte. Das Versuchspflänzchen, welches im Apparate so fixirt wurde, dass das Blatt völlig vertical stand, also die Lichtstrahlen fast senkrecht auf die Fläche desselben fielen, hielt sich während des ganzen Versuches völlig frisch. Es konnte desshalb nicht angenommen werden, dass das Abschneiden und Verkleben der beiden Blätter die Pflanze in einen abnormen Zustand gebracht habe. Hierfür spricht auch der regelmässige Verlauf des Versuches.

Das Lebendgewicht der transspirirenden Theile dieses Maispflänzchens betrug nach einer am Schlusse des Versuches ge-

machten Wägung 0·492 Grm. Die gesammte transspirirende Oberfläche betrug etwa 9·5 □ Ctm.

Die Temperatur des dunklen Raumes betrug während der Versuchszeit 22·2—23·6°C. Die Temperatur in den einzelnen Spectraltheilen wurde nicht gemessen, um den Versuch nicht zu complieiren und weil alle von mir im objectiven Spectrum unternommenen Versuche lehrten, dass die in den einzelnen Spectraltheilen erzielten Transspirationswerthe einen ganz anderen Verlauf nahmen als die Wärmecurve des Spectrums. Dies lehrt auch der zuletzt mitgetheilte Versuch. Wäre die thermische Wirkung der Lichtstrahlen für die Grösse der Transspiration im Lichte massgebend, so hätten für Roth die grössten Werthe gefunden werden müssen, während sich gerade die stärkste Transspiration im entgegengesetzten Theile des Spectrums, dessen thermische Wirkung im Vergleiche zum Roth ja bekanntlich eine sehr geringe ist, zeigten.

Der Dunstdruck schwankte nur zwischen 14·8—15·3, die relative Feuchtigkeit zwischen 75—76 Proc.

Das Versuchspflänzchen gab im Finstern in der Stunde 24 Milligr. Wasserdampf ab.

Die Buchstaben Z und W haben in den nachfolgenden Columnen dieselbe Bedeutung, wie im vorigen Versuche. In Betreff der Zeitangaben gilt das dort Mitgetheilte. Das nach der Äquilibrirung jedesmal abgenommene Gewicht betrug 4 Milligr.

Die im Absorptionsstreifen I, also zwischen den Fraunhofer'schen Linien B—C aufgestellte Pflanze ergab Folgendes:

	Z	W
Wägung Nr. 1	7·2 Minut.	33·3 Milligr.
„ „ 2	6·9 „	34·8 „
„ „ 3	6·4 „	37·5 „
„ „ 4	6·8 „	35·3 „
„ „ 5	7·0 „	34·3 „
„ „ 6	7·0 „	34·3 „

Hierauf wurde die Pflanze in Orang-Gelb so aufgestellt, dass die Fraunhofer'sche Linie D den in Gelb gelegenen Rand des Blattes abgrenzte; Letzteres befand sich ziemlich genau zwischen den Absorptionsstreifen II und III des Chlorophyllspectrums.

	Z	W
Wägung Nr. 1	9·1 Minut.	26·3 Milligr.
„ „ 2	8·1 „	29·6 „
„ „ 3	7·4 „	33·9 „
„ „ 4	7·5 „	32·0 „
„ „ 5	7·5 „	32·0 „

Hierauf wurde die Pflanze in's Grün gebracht und zwar in den Theil, entsprechend etwa $E—b$: Sie befand sich beiderseits weit von den Orten entfernt, welche den Absorptionsstreifen IV und V des normalen Chlorophyllspectrums entsprechen, das grüne Blatt der Versuchspflanze befand sich also in jenem Theile des Spectrums, welcher vom Chlorophyll am wenigsten absorbirt wird.

	Z	W
Wägung Nr. 1	8·4 Minut.	28·5 Milligr.
„ „ 2	8·1 „	29·6 „
„ „ 3	7·8 „	30·7 „
„ „ 4	7·9 „	30·4 „
„ „ 5	7·9 „	30·4 „
„ „ 6	7·9 „	30·4 „

In jenem Spectraltheile, welcher dem Absorptionsstreifen VI[1] des Chlorophyllspectrums entspricht, also im Blau hinter der Mitte von F und G wurde Folgendes beobachtet

	Z	W
Wägung Nr. 1	6.9 Minut.	34·8 Milligr.
„ „ 2	6·0 „	40·0 „
„ „ 3	5·8 „	41·3 „
„ „ 4	5·5 „	43·6 „
„ „ 5	6·2 „	38·7 „
„ „ 6	6·2 „	38·7 „

Nehme ich die Endwerthe jeder dieser Versuchsreihen als stationär an, was indess, wie ich selbst gestehe, nur näherungsweise richtig sein dürfte, so erhält man folgende Transspirationswerthe für die Stunde:

Im Roth entsprechend dem Absorptionsstreifen I einer Chlorophylllösung . . . . 34·3 Milligr.

---

[1] S. Kraus die Chlorophyllfarbstoffe 1872, p. 34.

Im Orangegelb, entsprechend den zwischen II und III gelegenen Strahlen	32·0	Milligr.
Im Grün zwischen IV und V	30·4	„
Im Blau entsprechend VI	38·7	„

Rechne ich aus jeder Beobachtungsreihe die Mittelwerthe, so erhalte ich

für Roth	34·9	Milligr.
„ Orangegelb	30·8	„
„ Grün	30·0	„
„ Blau	39·5	„

Die Zahlen der beiden letzten Zusammenstellungen lehren wohl deutlich, dass eine ganz andere Beziehung zwischen der Brechbarkeit der Lichtstrahlen und ihrem Einflusse auf die Transspiration der Pflanze existirte, als von Dehérain und Risler angegeben wurde. Die am meisten leuchtenden Strahlen, welche wie die Untersuchungen von Draper, Sachs, Pfeffer etc. lehrten, die grösste Kohlensäure zerlegende Kraft besitzen, und die nach Dehérain auch die Transspiration im Lichte am meisten begünstigen sollen, leisten für den genannten physiologischen Process relativ wenig, wie überhaupt alle diejenigen Strahlen, welche vom Chlorophyll nur schwach oder nicht absorbirt werden. Hingegen fällt jenen Lichtstrahlen, welche im Chlorophyll so stark absorbirt werden, dass sie uns im Spectrum der genannten Substanz ausgelöscht erscheinen, und die bekannten sieben Absorptionsstreifen des Chlorophyllspectrums hervorrufen, die stärkste Wirkung auf die Transspiration der Pflanze zu. Die Kraft der Lichtstrahlen, welche die Transspiration der Pflanze im Lichte steigert, nimmt desshalb nicht, wie Dehérain behauptete, vom Gelb nach beiden Enden des sichtbaren Spectrums ab, sondern ist über das ganze leuchtende Spectrum, und zwar in eigenthümlicher Weise vertheilt.

Bemerkenswerth erscheint mir das aus den beiden letzten Versuchen (Nr. 18 und 19) sich ergebende Resultat, dass die dem Absorptionsstreifen VI entsprechenden Lichtstrahlen die Trans-

spiration noch mehr als die dem Streifen I entsprechenden begünstigen. Es steht diese Beobachtung entschieden im innigsten Zusammenhange mit der interessanten, von Wolkoff[1] jüngsthin veröffentlichten Thatsache, dass nicht, wie bis dahin angenommen wurde, dem Absorptionsstreifen I, sondern dem zwischen *F* und *H* gelegenen Theile des Chlorophyllspectrums die stärkste Lichtabsorption zukommt.

Es lehren die mitgetheilten Beobachtungen aber auch, dass die zwischen den Absorptionsstreifen des Chlorophyllspectrums gelegenen, beim Durchgang des Lichtes bekanntlich mehr oder weniger verdüstert erscheinenden Partien des Spectrums für die Transspiration etwas leisten.

Es scheint jedem leuchtenden Strahl des Spectrums die Fähigkeit zuzukommen, die Transspiration zu begünstigen. Offenbar geht aber eine weitaus stärkere Wirkung in der genannten Richtung von den uns im Chlorophyllspectrum ausgelöscht erscheinenden Strahlen aus.

Ich habe auch eine Versuchsreihe durchgeführt, um zu sehen, wie sich etiolirte Pflänzchen im objectiven Spectrum verhalten. Die Lichtabsorption in Lösungen des Etiolins (Xanthophylls) ist, wie allgemein zugegeben wird, im stärker brechenden Theil des Spectrums eine starke und bei dichteren Schichten sogar eine continuirliche. Hingegen sind die Absorptionsverhältnisse in der schwächer brechenden Hälfte noch nicht genügend gekannt. Kraus[2] giebt an, dass der ganze vordere Theil des Spectrums (Roth-Grün) durch eine aus Gerstenkeimlingen bereitete weingeistige Lösung ungehindert durchgeht. Pringsheim[3] findet hingegen, dass dicke Schichten einer „Etiolin“-Lösung Absorptionsbänder zeigen, welche den Streifen I—IV einer Chlorophylllösung entsprechen.

Thatsache ist, dass verdünnte Etiolinlösungen deutliche Absorptionen in Blau- Indigo-Violett zu erkennen geben, nicht aber in Roth-Grün. Es lässt sich somit vermuthen, dass die

---

[1] Die Lichtabsorption in den Chlorophylllösungen, Heidelberg 1876.

[2] l. c. p. 112.

[3] Untersuchungen über das Chlorophyll. Monatsber. der Berliner Akademie 1874. Oct.

stärker brechbare Hälfte des Lichtes die Transspiration etiolirter Pflanzen mehr als die schwächer brechende begünstigen müsse.

Es wurde hierüber im objectiven Spectrum nur ein einziger Versuch angestellt, dessen Resultate ich hier folgen lasse.

Versuch Nr. 20.

Etiolirte Keimlinge von Gerste, welche bei einer Lufttemperatur von 22·0—22·5 C. einem Dunstdrucke von 14·5—15·1 und einer relativen Feuchtigkeit von 73—74 Proc. im Dunklen 21 Milligr. Wasser verdunsteten, gaben bei den gleichen Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnissen innerhalb der gleichen Zeit ab:

In Blau-Indigo . . . . 36·1 Milligr.
Gelb-Orange . . . . 32·8 „

Noch möchte ich auf ein merkwürdiges Factum aufmerksam machen, welches ich bei allen von mir vorgenommenen Transspirationsversuchen im objectiven Spectrum beobachtet habe. Ich finde nämlich, so wie bei den Beobachtungen im weissen Lichte, dass den stationären Transspirationswerthen grössere Werthe vorangehen. Aber ich habe, was bei der Wasserverdunstung der Pflanze im weissen Lichte wohl auch der Fall sein dürfte, was ich aber nicht zu constatiren vermochte, bei den Versuchen im homogenen Lichte gefunden, dass beim Wechsel der Beleuchtung, namentlich wenn die Pflanzen aus dem Dunkel in's Licht gestellt wurden, die Verstärkung der Transspiration keine plötzliche, sondern eine allmählig sich steigernde ist. —

Ich gehe nun darauf über, die Versuche zu schildern, welche ich mit Zuhilfenahme doppelwandiger mit farbigen Lösungen gefüllter Glasglocken anstellte.

Zur Füllung derselben dienten die bei derartigen Versuchen so oft angewendeten Lösungen von saurem chromsaurem Kali, schwefelsaurem Kupferoxydammoniak, ferner Lösungen von Chlorophyll in Alkohol oder Äther. Die ätherische Chlorophylllösung wurde angewendet, wenn die Versuche längere Zeit dauern sollten. Wie bekannt, ist dann die ätherische Lösung der alkoholischen vorzuziehen, weil letztere durch den absorbirten

Sauerstoff im Lichte eher oxydirt (verfärbt) wird als erstere, welche überhaupt nur sehr wenig Sauerstoff aufnimmt.

Die Lösungen der genannten Substanzen wurden auf gleiche Helligkeit gebracht und verglichen mit einer durch schwache Trübung mittelst fein ausgefülltem oxalsaurem Kalk auf gleiche Helligkeit gestellten farblosen Flüssigkeit (Wasser). Über die Herstellung gleich heller Flüssigkeiten für den genannten Zwecke habe ich schon früher ausführlich berichtet[1].

Die Lösung des doppeltchromsauren Kali bezeichne ich im Nachfolgenden der Kürze halber mit *G* (gelb) die des schwefelsauren Kupferoxydammoniaks mit *Bl* (blau) die des Chlorophylls mit *Gr* (grün) und die farblose Flüssigkeit mit *W* (weiss).

In der angewendeten Schichtendecke liessen hindurch:

G . . . . . die Strahlen von *B—Eb*,
Bl . . . „ *Eb—H* (und etwas Roth),
Gr . . . . das ganze sichtbare Spectrum mit Ausschluss der den 7 Absorptionsstreifen entsprechenden Strahlen.
W. . . . . alle Strahlen des sichtbaren Spectrums.

Über die Temperaturen in den der Sonne ausgesetzten mit den genannten Flüssigkeiten gefüllten Glasglocken hat bereits Pfeffer[2] die nöthigen Angaben gemacht. Ich habe in Folge der Anwendung eines Radiationsthermometers, der in die Glocken eingeführt wurde, etwas genauere Zahlen als Pfeffer bekommen. Ich unterlasse es, dieselben hier mitzutheilen, da die erhaltenen Differenzen in der Temperatur, welche in den einzelnen Glocken herrschte, doch nur geringe waren, und in den extremsten Fällen 3·8°C betrugen, selbstverständlich für gleiche äussere Verhältnisse der Insolation.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Glasglocken, welche in derselben Weise aufgestellt wurden, wie dies für die Versuche beschrieben wurde, variirten in den einzelnen Versuchs-

---

[1] Untersuchungen über die Beziehungen des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften Bd. 69, I. Abth., April 1874., Sep. p. 28 ffd.

[2] Arbeiten des botan. Inst. zu Würzburg I p. 30 ffc.

reihen so unerheblich, dass auch sie keinen wesentlichen Einfluss auf die Transspirationswerthe nehmen konnten.

Es wurde in den Jahren 1875 und 76 im pflanzenphysiologischen Institute an sonnigen Tagen zahlreiche Transspirationsversuche mit Anwendung farbiger Flüssigkeiten ausgeführt und zwar theils von mir, theils (1875) von dem damaligen Assistenten des Institutes, Herrn Gymnasialprofessor Dr. Burgerstein, die alle zu dem Ergebnisse führten, dass die Transspiration in Roth-Gelb (G) nicht grösser ist als im Grün-Violett (Bl), wie nach den Versuchen von Dehérain zu vermuthen gewesen wäre, dass aber in der Regel im Grün-Violett die Verdunstung eine grössere als in Roth-Gelb war. Stets wurde hinter einer Chlorophylllösung die relativ schwächste Transspiration beobachtet. Man sieht, dass diese Resultate mit den im objectiven Spectrum erhaltenen im Einklange stehen. Sowohl in Roth-Grün als in Grün-Violett liegen Strahlen, welche die Transspiration kräftigst hervorrufen, nämlich die den Absorptionsstreifen im Chlorophyllspectrum entsprechenden; hingegen werden von der Chlorophylllösung, welche die zur transspirirenden Pflanze gelangenden Strahlen zu durchschreiten haben, alle diejenigen Strahlen absorbirt, welche nach den früheren Versuchen (Nr. 18 und 19) die Transspiration am meisten begünstigen. Desshalb bleiben die Transspirationswerthe der hinter Chlorophylllösungen verdunstenden Pflanzen so auffallend zurück. Vergleicht man die Spectren gleich heller Chlorophylllösungen in Alkohol oder Äther mit denen der Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak, so wird man sofort erkennen, dass, wenn Dehérain's Beobachtungen allgemeine Geltung besässen, gerade die hinter Chlorophylllösungen stehende Pflanze stark transpiriren müsste, da diese grüne Flüssigkeit von der schwächer brechenden Hälfte des Spectrums, welche von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak fast ganz verschluckt wird viel hindurch lässt und namentlich Orangegelb sehr reichlich, welchen Lichtfarben ja, wie bekannt, die grösste assimilatorische Kraft zukommt, und welche wie schon erwähnt, nach Dehérain die Transspiration am stärksten hervorrufen sollen.

Aus der grossen Zahl von unseren Beobachtungen lasse ich nur einige wenige folgen, und bemerke, dass die Versuche mit

Maispflanzen von mir, die mit Taxus-Zweigen von Herrn Dr. Burgerstein durchgeführt wurden.

Versuch Nr. 21.

Lebendgewicht der transspirirenden Organe der drei Versuchspflanzen (ergrünte Maispflänzchen) *A, B, C.*		Transspirirende Oberfläche der drei Versuchspflanzen *A, B, C.*	
A	0·75 Grm.	*A*	15 Quad. Ctm.
B	0·82 „	*B*	18 „
C	0·77 „	*C*	16 „

Temperatur (aussen): geschütztes Thermometer: 25·6—26·6° C.; Radiations- Thermometer: 32·1

Dunstdruck (in der Glasglocke): 18·4—18·5

Relative Feuchtigkeit „ 69—70 Proc.

Beleuchtung: Sonnenlicht.

Die Verdunstung im Finstern betrug bei denselben Feuchtigkeits- und Temperatursverhältnissen.

bei *A* . . . . 24 Milligr. per Stunde.
B . . . . 28 „ „
C . . . . 25 „ „

A wurde hinter *G*; *B* hinter Bl.; *C* hinter Gr. aufgestellt. Nach Ablauf einer Stunde wurden folgende Transspirationswerthe beobachtet:

Pflanze hinter G . . . . . 58 Milligr.
„ in Bl . . . . . 79 „
„ „ Gr . . . . . 48 „

Umgerechnet auf 100 Milligr. Verdunstung in der Stunde im Finstern ergaben sich für dieselbe Zeit folgende Transspirationswerthe:

Pflanze hinter G. . . . . 241 Milligr.
„ „ Bl . . . . 283 „
„ „ Gr . . . . 192 „

Berechnet man die direct beobachteten Werthe auf 100 Grammen Lebendgewicht der transspirirenden Organe, so erhält man für gleiche Zeiten folgende Werthe:

Pflanze hinter G 7733
„ „ Bl 9634
„ „ Gr . . . . . . 6233.

Bezieht man endlich die beobachteten Werthe auf 100 □ Ctm. verdunstende Oberfläche, so ergaben sich für gleiche Zeiten die nachstehenden Zahlen:

Pflanze in G 386
„ „ Bl 438
„ „ Gr . . . . 300.

Man sieht aus dieser Versuchsreihe deutlich, dass, wie man immer behufs Vergleichung der gewonnenen Resultate die Umrechnung anstellen mag, ob man auf gleiche Verdunstung im Finstern, gleiches Gewicht oder gleiche Oberfläche der transspirirenden Organe bezieht, man stets findet, dass die Transspiration hinter der blauen Lösung eine stärkere ist als hinter der gelben, dass aber das durch die Chlorophylllösung hindurchgegangene Licht die schwächste Wirkung auf alle im Versuche verwendeten Pflanzen ausübte.

Versuch Nr. 22.

Lebendgewicht der transspirirenden Organe der Versuchspflanzen (ergrünte Maispflänzchen) *A, B, C, D.*		Transspirirende Oberfläche der Versuchspflänzchen *A, B, C, D.*	
A	1·82 Grm.	*A*	44 □ Ctm.
B	1·89 „	*B*	42 „
C	1·79 „	C	36 „
D	1·68 „	*D*	37 „

Beleuchtung: helles diffuses Tageslicht.
Temperatur: Am geschützten Thermometer: 21·0—23·3° C.
Dunstdruck in den Glasglocken: 13·8
Relative Feuchtigkeit: 74—75 Proc.

Die Verdunstung im Finstern betrug in der Stunde:

bei *A* . . . . 31 Milligr.
B . . . . 33 „
C . . . . 32 „
D . . . . 28 „

A wurde hinter *W*; *B* hinter G; *C* hinter Bl; *D* hinter Gr. zur Transspiration aufgestellt. Die Pflanzen wurden von $^1/_2$ Stunde zu $^1/_2$ Stunde gewogen. Schon in der zweiten bis dritten Stunde stellten sich stationäre Transspirationswerthe ein, welche im nachfolgenden Täfelchen beziffert sind.

Pflanze	hinter	W	 58	Milligr.
„	„	G	 40	„
„	„	Bl	 43	„
„	„	Gr	 33	„

In der Stunde transspirirte Wassermenge für 100 Milligr. Verdunstung im Finstern.

Pflanze	hinter	W	 187	Milligr.
„	„	G	 121	„
„	„	Bl	 134	„
„	„	Gr	 117	„

In der Stunde transspirirte Wassermenge berechnet für 100 Grm. Lebendgewicht der transspirirenden Organe:

Pflanze	hinter	W	. . . . . 3·18	Grm.
„	„	G	. . . . . 2·11	„
„	„	Bl	. . . . . 2·40	„
„	„	Gr	. . . . 1·96	„

In der Stunde transspirirte Wassermenge, berechnet für 100 □ Ctm. verdunstender Oberfläche:

Pflanze	hinter	W	 131	Milligr.
„	„	G	 95	„
„	„	Bl	 119	„
„	„	Gr	 89	„

Versuch Nr. 23.

Um zu zeigen, dass auch im feuchten Raume die Transspiration einer der Wirkung der schwächer brechenden Hälfte des Sonnenspectrums ausgesetzten Pflanze nicht mehr beträgt als die einer der stärker brechenden Strahlen ausgesetzten, wie Dehérain behauptet, sondern auch hier wie bei geringerer

relativer Feuchtigkeit gerade das Umgekehrte statt hat, wurde ein Versuch mit ein und derselben Maispflanze hinter gleich hellen Lösungen von doppeltchromsaurem Kali und Kupferoxydammoniak im Sonnenlichte gemacht. Es wurde eine möglichst grosse Versuchspflanze gewählt, und dieselbe mit einer relativ kleinen doppelwandig mit schwefelsaurem Kupferoxydammoniak gefüllten Glasglocke völlig bedeckt. Nach Ausweis der Psychrometerangaben stieg in diesem Raume die relative Feuchtigkeit sehr rasch und alsbald stellte sich ein dunstgesättigter Raum her. Schon nach 6 Minuten stieg die relative Feuchtigkeit von 63 auf 67 Proc. und nach weiteren 10 Minuten war der Raum dunstgesättigt. Nach Ablauf einer Stunde betrug der Transspirationsverlust 128 Milligr. Nun wurde die Pflanze für eine Stunde in einer mit saurem chromsaurem Kali aufgestellte Glasglocke aufgestellt. Die abgegebene Wassermenge betrug bloss 108 Milligr.

Nach einem weiteren 2 Stunden anwährenden ähnlichen Versuch wurde hinter Bl abgegeben 130, hinter Gelb 115 Milligr.

Versuch Nr. 24.

Vier Zweige von *Taxus baccata* in gleicher Weise wie alle früher besprochenen Versuchspflanzen zur Transspiration adaptirt, wurden durch eine Stunde unter völlig gleichen äusseren Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnissen im diffussen Tageslichte transspiriren gelassen.

Der Zweig *A* gab ab 117 Milligr.
„ *B* „ 54 „
„ *C* „ 73 „
„ *D* „ 53 „

A wurde hinter *W*; *B* hinter *G*; *C* hinter Bl; *D* hinter Gr dem Sonnenlichte ausgesetzt und jene Vorsichten bei der Aufstellung gebraucht, welche zur Verhinderung der Bildung eines feuchten Raumes nöthig waren.

In der 1. Stunde wurde abgegeben:

von der Pflanze hinter W . . . . . 242 Milligr.
„ „ „ „ G . . . . . 127 „
„ „ „ „ Bl . . . . 132 „
„ „ „ „ Gr . . . 161 „

Rechnet man diese Zahlen für 100 Milligr. Verdunstung im diffusen (weissen) Lichte um, so bekommt man

für die Pflanze in W	......	206 Milligr.
G	......	172 „
Bl	......	244 „
Gr	......	115 „

Die Temperatur während des Versuches betrug an dem freistehenden Thermometer 23·5—24°C. Auf Luftfeuchtigkeitsverhältnisse wurde in diesem Versuche keine Rücksicht genommen; ebenso nicht in dem folgenden Versuche.

Versuch Nr. 25.

Zum Versuche dienten vier Taxuszweige, *A*, *B*, *C*, *D*, welche im Dunkeln folgende Wassermenge abgaben:

A	....	16·5 Milligr.
B	....	12·0 „
C	....	20·0 „
D	....	15·0 „

In gleicher Weise wie die Versuchsweise der vorigen Versuchsreihe aufgestellt zeigten sie, der Wirkung der Sonne ausgesetzt, bei einer Lufttemperatur von 23·5—24·5°C. folgende Transspirationswerthe:

Pflanze in W	....	110 Milligr.
„ „ G	....	61 „
Bl	....	105 „
Gr	....	50 „

Rechnet man diese Zahlen auf 100 Milligr. Verdunstung per Stunde im Finstern um, so bekommt man für dieselben Zeiten

bei der Pflanze in W	...	666 Milligr.
„ „ „ „ G	...	508 „
„ „ „ „ Bl	...	525 „
„ „ „ „ Gr	...	333 „

Reducirt man auf eine gleiche Blätterzahl (*A* hatte 60, *B* 61, *C* und *D* je 62 Blätter), und zwar auf 100, so erhält man

für die Pflanze in W . . . 183 Milligr.
„ „ „ „ G . . . 100 „
„ „ „ „ Bl . . . 164 „
„ „ „ „ Gr . . . 80 „

Bezieht man endlich auf das gleiche Gewicht der Blätter, wobei vorauszuschicken, dass die Blätter

der Pflanze *A* wogen . . . 1·04 Grm.
„ „ *B* „ . . . 1·01 „
„ „ *C* „ . . . 1·17 „
„ „ *D* „ . . . 1·13 „

so erhält man für 100 Grm. Blätter folgende Verdunstungswerthe

für die Pflanze im W . . 10·577 Grm.
„ „ „ „ G . . . 6·040 „
„ „ „ „ Bl . . 8·903 „
„ „ „ „ Gr . . 4·409 „

Man sieht also, dass, wie man die directen Beobachtungen auch umrechnen mag, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, man stets zu Resultaten kommt, welche mit den im vorigen Capitel erhaltenen auf einem ganz anderen Wege gewonnen völlig übereinstimmen.

Noch möchte ich bemerken, dass, obgleich nach den früheren Mittheilungen die (sichtbaren) Spectra von G und Bl sich nahezu zu jenem von W ergänzten, demnach die hinter G und Bl. erhaltenen Transspirationswerthe sich nicht zu jener summirten, welche hinter W gefunden wurde, sondern stets grösser ausfielen.

Man wird zur Erklärung dieses Factums sich wohl vergegenwärtigen müssen dass Bl auch etwas Roth, ferner, wie bekannt reichlich dunkle Wärme hindurchlässt, während diese in W reichlich zurückgehalten wird.

V. Schlussbetrachtung.

Die vorgeführten Untersuchungen erklären uns eine wichtige und lange bekannte physiologische Erscheinung der Pflanze: die Beschleunigung der Transspiration im Lichte.

An der grünen Pflanze tritt diese Erscheinung mit besonderer Deutlichkeit heran, wie die Parallelversuche mit grünen und

etiolirten Maispflanzen lehrten. Obgleich die Transspirationswiderstände bei etiolirten Maispflanzen geringer sind als bei ergrünten, so transspirirten die letzteren im Lichte, besonders im directen Sonnenlichte unter sonst fast gleichbleibenden Temperaturs- und Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft doch weit aus stärker als erstere.

Die Function des Chlorophylls bei der Transspiration im Lichte geht aus den beschriebenen Experimenten zur Evidenz hervor. Beim Durchgang des Lichtes durch das Chlorophyll wird ein Theil des ersteren durch Umsatz in Wärme ausgelöscht: es entsteht die bekannte Absorption des Chlorophylls. Durch diesen Umsatz von Licht in Wärme, welchen ich schon in einer früheren Arbeit nachgewiesen habe, erfolgt eine innere Erwärmung der Gewebe, in Folge welcher die Spannung der Wasserdämpfe und die relative Feuchtigkeit in den Intercellularen sich steigert. Die durch die so gewonnene Spannung den Dunstdruck der äusseren Luft überragenden Wasserdämpfe der Intercellularen werden durch die Stomata nach aussen geschafft.

Hiermit sind die Vorbedingungen gegeben, dass selbst noch in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre Transspiration statthaben kann. Dieser lange bekannte Process kann sich an der grünen Pflanze nur im Lichte vollziehen.

Auf drei verschiedenen Wegen wurde in dieser Arbeit nach dem Zusammenhange zwischen Licht und verstärkter Transspiration gesucht: durch Vergleich der Transspiration grüner und etiolirter Pflanzen im Lichte, durch Transspirationsversuche im objectiven Spectrum und durch Transspirationsversuche angestellt mit grünen Pflanzen hinter Chlorophylllösungen. Obwohl die eingeschlagenen Wege von einander verschieden waren, so führten sie doch zu demselben Resultate. Auf dem ersten Wege wurde gezeigt, dass die Anwesenheit des Chlorophylls die Transspiration im Lichte in der auffälligsten Weise steigert; auf dem zweiten wurde dargethan, dass D e h é r a i n's Angabe: die am meisten leuchtenden Strahlen des Lichtes begünstigen die Transspiration am meisten, unrichtig ist, und wurde bewiesen, dass vielmehr die dem Bereiche der Absorptionsstreifen des Chlorophyllspectrums angehörigen Lichtstrahlen diese Function haben. Der dritte Weg lehrte im Grunde dasselbe: es stellte sich heraus, dass die Licht-

strahlen, welche eine Chlorophylllösung passirten, nur eine schwache Wirkung auf eine transspirirende Pflanze ausüben, da beim Durchgang des Lichtes durch die grüne Lösung jene Lichtstrahlen ausgelöscht wurden, welche auf die verdunstende Pflanze die stärkste Wirkung ausüben.

Auch andere Farbstoffe, z. B. Xanthophyll (Etiolin), können durch Umsatz von Licht in Wärme in ähnlicher Weise wie das Chlorophyll die Transspiration der Pflanze im Lichte begünstigen. Doch hat das Chlorophyll in dieser Richtung, wie es scheint, unter allen in der Pflanze fungirenden ähnlichen lichtabsorbirenden Substanzen die stärkste Wirkung. [1]

Dass die Öffnung der Stomata die Verdunstung der Pflanzen im Lichte etwas zu verstärken vermag, soll nicht geläugnet werden. Allein die Versuche mit Maispflänzchen, welche, obgleich ihre Spaltöffnungen fast ganz geschlossen waren, im Sonnenlichte eine so enorme Transspiration aufweisen, zeigen deutlich, dass diese Erscheinung auf anderen Ursachen beruhen müsse, was wohl auch noch durch die oben mitgetheilte Beobachtung an *Hartwegia comosa*, deren Blätter, obwohl die Spaltöffnungen derselben im Finstern weit geöffnet sind, doch nur wenig transspiriren, bestätigt wird.

Neben den leuchtenden Strahlen des Lichtes, welche bei der natürlichen Lichtquelle der Pflanze unter allen Antheilen des Spectrums die stärkste Wirkung auf die Transspiration ausüben, begünstigen auch die dunklen Wärmestrahlen diesen Process. Die dunklen chemischen Strahlen wirken bei der Transspiration im Lichte entweder nicht mit oder haben nur eine geringe Wirkung.

Sowohl die leuchtenden Strahlen des Lichtes als die dunklen Wärmestrahlen wirken auf die Transspiration durch innere Erwärmung der Gewebe, welche eine verstärkte Dampfspannung im Innern der Gasräume der Pflanze hervorruft. Dehérain's Angabe, dass das Licht auf die transspirirende Pflanze durch

[1] Um etwaigen Missverständnissen vorzubeugen, möchte ich bemerken, dass ich keineswegs beanspruche, durch die vorliegende Untersuchung über die Beziehung zwischen der Transspiration und der Lichtabsorption in den Farbstoffen der lebenden Pflanze, namentlich im Chlorophyll, die physiologische Bedeutung der Lichtabsorption erschöpfend dargelegt zu haben.

seine Leuchtkraft und nicht durch seine thermische Kraft wirkt, beruht nicht nur auf irrigen Auffassungen über die Wirkungsweise des Lichtes in der Pflanze, sondern widerstreitet auch den Ergebnissen klar durchdachter und correct ausgeführter einschlägiger Experimente.

Die vorliegende Arbeit erklärt den physiologischen Zweck der Absorption des Lichtes im Chlorophyll, und macht mit einer bis dahin nicht gekannten Function des Chlorophylls bekannt: durchleuchtet, die Transspiration in kräftiger Weise zu erhöhen. Die physiologische Bedeutung dieser Function des Chlorophylls lässt sich leicht klar machen. Die verstärkte Transspiration hat eine gesteigerte Flüssigkeitsbewegung in der Pflanze zur Folge, wodurch eine vermehrte Zufuhr roher Nahrungsstoffe in die grünen Organe gerade unter Umständen eintritt, welche die Assimilation am meisten begünstigen.

Noch bemerke ich, dass nach meinen oben geschilderten Versuchen die Wirkung des Lichtes auf die Transspiration mit seinem Erlöschen nicht sofort verschwindet, sondern bei diesem physiologischen Processe sich eine Nachwirkung des Lichtes bemerkbar macht, indem der durch die Beleuchtung erzielte Wärmeeffect in Folge der Wärmeleitungsverhältnisse der lebenden Gewebe noch einige Zeit nachdauert.
